

**MANAJEMEN INTERFERENSI PADA JARINGAN ULTRA DENSE
NETWORK (UDN) DENGAN BERBANTUAN RECONFIGURABLE
INTELLIGENT SURFACE (RIS) MENGGUNAKAN TEKNIK
CLUSTERING DAN FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR)**

(Tesis)

Oleh

**ALISHA GITA GUMILANG
2225031007**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

**MANAJEMEN INTERFERENSI PADA JARINGAN ULTRA DENSE
NETWORK (UDN) DENGAN BERBANTUAN RECONFIGURABLE
INTELLIGENT SURFACE (RIS) MENGGUNAKAN TEKNIK CLUSTERING
DAN FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR)**

**Oleh
ALISHA GITA GUMILANG**

Tesis

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

Pada

**Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**PROGRAM PASCASARJANA MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

MANAJEMEN INTERFERENSI PADA JARINGAN ULTRA DENSE NETWORK (UDN) DENGAN BERBANTUAN RECONFIGURABLE INTELLIGENT SURFACE (RIS) MENGGUNAKAN TEKNIK CLUSTERING DAN FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR)

Oleh

ALISHA GITA GUMILANG

Salah satu solusi untuk mengatasi tantangan dalam memenuhi kebutuhan kapasitas jaringan yang terus meningkat adalah dengan menerapkan teknologi *Ultra Dense Network (UDN)* dan *Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)*. Namun, teknologi *UDN* menghadirkan tantangan berupa peningkatan interferensi akibat tingginya kepadatan femtocell yang tersebar di dalam makrosel. Selain itu, teknologi *RIS* juga berpotensi meningkatkan interferensi karena proses pemantulan sinyal tidak hanya merefleksikan sinyal utama, tetapi juga interferensi yang menyertainya. Penelitian ini menawarkan solusi melalui manajemen interferensi pada jaringan *UDN* dengan memanfaatkan teknologi *RIS* selama transmisi downlink. Pendekatan yang digunakan meliputi metode clustering, *Fractional Frequency Reuse (FFR)*, serta kombinasi keduanya. Metode *clustering* bertujuan untuk mengurangi interferensi *co-tier* dengan mengelompokkan *femtocell* yang menggunakan kanal frekuensi berbeda ke dalam kluster tertentu, sehingga memperluas jarak antar pengguna dengan frekuensi yang sama. Sementara itu, teknik *FFR* menangani interferensi *cross-tier* dengan mengalokasikan kanal berdasarkan pembagian area dalam makrosel.. Berdasarkan hasil simulasi pengaplikasian sistem yang diusulkan yaitu sistem 7 dengan penggabungan teknik clustering dan teknik *FFR* membantu meminimalisir terjadinya interferensi *co-tier* dan *cross tier* sehingga terjadi peningkatan nilai *SINR* dan throughput secara berurutan sebesar 7,8707 dB dan 25,7797 Mbps, dan sistem nilai *BER* mengalami penurunan nilai yaitu dari $1,56 \times 10^{-2}$ menjadi $1,428 \times 10^{-7}$ bit.

Kata Kunci: Ultra Dense Network, RIS, FFR (*Fractional Frequency Reuse*), *clustering*, transmisi *downlink*

ABSTRACT**INTERFERENCE MANAGEMENT IN ULTRA DENSE NETWORKS
(UDN) WITH RECONFIGURABLE INTELLIGENT SURFACE (RIS)
USING CLUSTERING AND FRACTIONAL FREQUENCY REUSE (FFR)
TECHNIQUES****By****ALISHA GITA GUMILANG**

One of the solutions to address the challenges of meeting the ever-increasing network capacity demand is the implementation of Ultra Dense Network (UDN) and Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) technologies. However, UDN technology poses challenges in the form of increased interference due to the high density of femtocells distributed within a macrocell. Additionally, RIS technology also has the potential to amplify interference because the signal reflection process not only reflects the primary signal but also the accompanying interference. This study proposes a solution through interference management in UDN networks by utilizing RIS technology during downlink transmission. The approaches employed include clustering methods, Fractional Frequency Reuse (FFR), and a combination of both. The clustering method aims to mitigate co-tier interference by grouping femtocells using different frequency channels into specific clusters, thereby increasing the distance between users with the same frequency. Meanwhile, the FFR technique addresses cross-tier interference by allocating channels based on area division within the macrocell. Based on the simulation results, the proposed system, referred to as System 7, combines clustering techniques and FFR techniques, effectively minimizing co-tier and cross-tier interference. This leads to an improvement in SINR and throughput values by 7.8707 dB. The throughput value also is increased by 25.7797 Mbps. The BER value has decreased from $1,56 \times 10^{-2}$ to $1,428 \times 10^{-7}$ bit.

Keywords: Ultra Dense Network, RIS, FFR (Fractional Frequency Reuse), clustering, downlink transmission

Judul Tesis

**MANAJEMEN INTERFERENSI PADA
JARINGAN ULTRA DENSE NETWORK
(UDN) DENGAN BERBANTUAN
RECONFIGURABLE INTELLIGENT
SURFACE (RIS) MENGGUNAKAN TEKNIK
CLUSTERING DAN FRACTIONAL
FREQUENCY REUSE (FFR)**

Nama Mahasiswa : **Alisha Gita Gumilang**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2225031007

Jurusan : Magister Teknik Elektro

Fakultas : Teknik



Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Misfa Susanto S.T., M.Sc.
NIP. 19710525 199903 1 001

Dr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002

2. Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro

Dr. Misfa Susanto S.T., M.Sc.
NIP. 19710525 199903 1 001

MENGESAHKAN

1. Komisi Penguji

Ketua Komisi Penguji

(Pembimbing I)

: Dr. Misfa Susanto S.T., M.Sc.



Sekretaris Komisi Penguji

(Pembimbing II)

: Dr. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.



Anggota Komisi Penguji

(Penguji I)

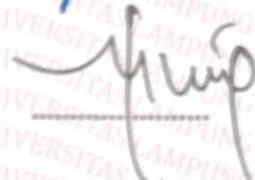
: Dr. Eng. FX. Arinto S., S.T., M.T.



Anggota Komisi Penguji

(Penguji II)

: Dr. Eng. Mardiana, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP. 19750928 200112 1 002



Direktur Program Pascasarjana

Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.

NIP. 19640326 198902 1 001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 21 Januari 2025

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik dan Program Pascasarjana Magister Teknik Elektro seluruhnya merupakan hasil karya sendiri.

Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan tesis yang saya kutip dari hasil karya hasil orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Tesis dengan judul “Manajemen Interferensi pada Jaringan *Ultra Denses Network (UDN)* dengan Berbantuan *Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)* Menggunakan Teknik *Clustering* dan *Fractional Frequency Resuse (FFR)*” dapat diselesaikan berkat bimbingan dan motivasi dari pembimbing-pembimbing saya, yaitu :

1. Dr. Misfa Susanto S.T., M.Sc
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc

Saya ucapkan terimakasih yang sebesar besarnya kepada semua pihak, khususnya kedua dosen pembimbing dan Bapak/Ibu Dosen Program Studi Magister Teknik Elektro Universitas Lampung yang banyak memberikan ilmu pengetahuan, bimbingan dan motivasi.

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku.

Bandar Lampung, 23 Januari 2025



Alisha Gita Gumilang

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Bukittinggi, 2 Juni 1996. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Bapak Joko Heri Pamungkas dan Ibu Siti Kutiah. Mengenai riwayat pendidikan penulis, penulis lulus dari Sekolah Dasar (SD) di SDN 02 Cakranegrasa, Mataram pada tahun 2008, lulus Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 33 Palembang pada tahun 2011, lulus Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 01 Palembang pada tahun 2014 dan diterima di Politeknik Negeri Malang di Jurusan Teknik Elektro Program Studi Jaringan Telekomunikasi Digital dan meraih gelar Sarjana Sains Terapan (S.S.T) pada tahun 2018. Penulis melakukan praktik kerja lapangan (PKL) di Airnav Indonesia di Surabaya pada tahun 2017. Pada tahun 2022 penulis terdaftar sebagai Mahasiswa Program Pascasarjana Teknik Elektro di Universitas Lampung, penulis melakukan penelitian pada bidang Telekomunikasi, di bagian Jaringan Komunikasi Seluler dengan judul tesis “Manajemen Interferensi pada Jaringan Ultra Denses Network (UDN) dengan Berbantuan Reconfigurable Intelligent Surface (RIS) Menggunakan Teknik Clustering dan Fractional Frequency Reuse (FFR)” dibawah bimbingan Bapak Misfa Susanto, S.T., M.Sc, Ph.D dan Bapak Helmy S.T., M.Sc, Ph.D.

Bandar Lampung, 23 Januari 2025

Penulis



PERSEMBAHAN

Dengan Ridho Allah SWT, teriring sholawat kepada Nabi Muhammad SAW

Papa dan Mama Tercinta,

Sebagai tanda bakti, hormat dan terimakasih yang tiada hingga kupersembahkan tesis ini untuk kedua orangtua tercinta saya Bapak Joko Heri Pamungkas dan Ibu Siti Kutiah, yang selalu senantiasa memberikan saya kasih sayang tiada tara, dukungan, dan ridho yang tidak bisa saya balas melalui selembur kertas ini. Semoga hal ini dapat menjadi langkah awal bagi saya untuk dapat membuat ayah dan ibu saya bahagia, walopun masih belum dapat membalas apa yang beliau-beliau berikan kepada saya. Terimakasih untuk selalu mendoakan dan menasehati saya untuk terus melangkah menjadi orang yang lebih baik dengan selalu memberikan keridhoan disetiap langkah. Terimakasih mama papa. Semoga selalu dalam lindungan Allah S.W.T.

Kakak dan Orang terdekatku

Sebagai tanda terimakasih aku persembahkan tesis ini untuk Alief Geigy Gumilang dan Mayuni Hartawan. Terimakasih selalu senantiasa memberikan semangat dan selalu memberikan bantuan dalam penyelesaian tesis ini. Semoga doa dan segala hal yang terbaik yang engkau berikan dapat menjadikan ku orang yang baik dan berguna bagi sekitar. Terimakasih.

Dosen Teknik Elektro,

Yang selalu membimbing, mengajarkan, memberikan saran, baik secara akademis maupun non akademis

Keluarga Besar MTE 2022,

Yang selalu memberi semangat, dukungan dalam proses yang sangat panjang, dan selalu berdiri bersama dalam perjuangan menuju kesuksesan

Almamaterku,

Universitas Lampung



MOTTO

“ Bersyukur dengan segala sesuatu yang telah dicapai hingga sampai saat ini, meskipun ada kalanya terjatuh, ada kalanya dapat berjalan pelan, hingga berlari kencang, untuk mencapau tujuan, dan selalu percaya akan kemampuan yang kita miliki, jika masih belum puas,teruslah belajar, belajar, dan belajar”

“ Jangan pernah mencoba untuk bermimpi jika sampai saat ini tidak ada pergerakan yang dilakukan untuk mencapai mimpi itu, bangun, bangkit, kerjakan, jalankan semuanya dengan ikhlas, suatu saat hal yang baik pasti akan menghampiri”

SANWACANA

Assalamu'alaikum, Wr.Wb. Alhamdulillahirobbil'alamiin. Puji syukur Penulis haturkan atas kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan baik. Tidak lupa, shalawat dan salam senantiasa penulis ucapkan kepada junjungan kita, Rasulullah SAW, yang menjadi suri teladan mulia yang membawa kita kepada cahaya kehidupan dan iman.. Tesis dengan judul "Manajemen Interferensi pada Jaringan *Ultra Denses Network* (UDN) dengan Berbantuan *Reconfigurable Intelligent Surface* (RIS) Menggunakan Teknik *Clustering* dan *Fractional Frequency Resuse* (FFR)" adalah salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Jurusan Teknik Elektro di Fakultas Teknik Universitas Lampung. Selama masa perkuliahan dan penelitian, penulis telah mendapatkan banyak hal berharga, baik berupa dukungan, bimbingan, semangat, motivasi maupun kontribusi dari berbagai pihak. Sehingga Tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besra kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si., selaku Direktur Progam Pascasarjana Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Bapak Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung dan selaku Pembimbing Kedua penulis yang senantiasa memberikan bimbingan, ilmu, saran, dan kritik dalam penyelesaian tesis ini.
4. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Misfa Susanto, S.T., M.T., Ph.D., selaku Ketua Program Studi

Magister Teknik Elektro Universitas Lampung, dan selaku dosen Pembimbing Utama tugas akhir penulis atas kesediannya dalam membimbing, memberikan nasehat, serta dorongan motivasi kepada penulis sehingga tesis ini dapat terselesaikan dengan baik.

6. Bapak Dr. Eng. F.X. Arinto Setyawan, S.T., M.T., selaku dosen Penguji Utama atas kesediaannya dalam memberikan saran dan kritik kepada penulis
7. Ibu Dr. Eng. Mardiana, S.T., M.T., selaku dosen Penguji Pendamping yang telah memberikan masukan dan arahan untuk penyelesaian tesis ini.
8. Segenap dosen dan pegawai di Jurusan Teknik Elektro yang telah memberikan ilmu dan wawasan yang tak terlupakan oleh penulis.
9. Untuk kedua orangtua penulis Ir. Joko Heri Pamungkas dan Siti Kutiah yang telah membesarkan dan memberi kasih sayang. Terimakasih atas kerja keras dan selalu mendukung penulis berupa doa atau perilaku dalam memberi semangat. Sehingga penulis dapat mencapai titik yang tidak bias penulis bayangkan tanpa bantuan dan doa kedua orangtua penulis.
10. Alief Geigy Gumilang dan Mayuni Hartawan selaku kakak penulis yang senantiasa memberikan support tanpa henti.
11. Teman-teman Magister Teknik Elektro 2022, yang saling memberikan support selama perkuliahan.
12. Terima kasih kepada Michellin selaku teman seperjuangan di MTE atas supportnya yang selalu senantiasa memberikan semangat dalam penyelesaian tesis ini.
13. Terima kasih kepada Luvity uhuy, kak dea, kak dena, gomi, yuni, dan gita. yang selalu memberikan canda dan tawa diselingan masa sulit dalam pengerjaan tesis ini.
14. Terimakasih juga penulis ucapkan kepada adek al, adek matt, kakji, abang, tommy, timmy, tammy dan tito anabul lucu sebagai support system yang selalu senantiasa memberikan semangat kepada penulis.

Penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan dan ketidaksempurnaan yang mungkin terdapat dalam penulisan tugas akhir ini. Akhir kata, penulis berharap tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak serta turut berkontribusi dalam memperkaya khazanah ilmu pengetahuan. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih.

Bandar Lampung, 21 Januari 2025
Penulis,

Alisha Gita Gumilang

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK.....	ii
ABTARCT.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO.....	ix
SANWANCANA.....	x
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang dan Permasalahan	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Hipotesis Penelitian	5
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Penelitian Terdahulu.....	6
2.2. Konsep Seluler.....	9
2.2.1. Frequency Reuse.....	10
2.2.2. Handoff	11
2.2.3. Interferensi dan Kapasitas Sistem Seluler	12
2.3. Ultra Dense Network	12

2.4. Fractional Frequency Reuse (FFR)	13
2.5. Teknik Clustering.....	15
2.6. Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS)	15
2.7. Daya Noise.....	17
2.8. Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)	17
2.9. Throughput.....	17
2.10. Bit Error Rate (BER)	18
2.11. Outage Probability	18
2.12. QOS.....	19
III. METODOLOGI PENELITIAN	20
3.1. Alat dan Bahan	20
3.2. Metode Penelitian.....	20
3.2.1. Pemodelan Sistem.....	20
3.2.1.1. Sistem 1.....	21
3.2.1.2. Sistem 2.....	22
3.2.1.3. Sistem 3.....	23
3.2.1.4. Sistem 4.....	25
3.2.1.5. Sistem 5.....	26
3.2.1.6. Sistem 6.....	27
3.2.1.7. Sistem 7.....	28
3.2.2. Parameter Simulasi	29
3.2.3. Model Kanal dan Perhitungan Parameter Kinerja Jaringan.	29
3.3. Alat Penelitian.....	32
3.4. Spesifikasi Alat	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
4.1. Hasil Perbandingan Nilai SINR pada Pengaplikasian Sistem terhadap Kemunculan HeNBs.....	36
4.1.1. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja SINR.....	36
4.1.2. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja SINR.....	38
4.1.3. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode Clustering terhadap Kinerja SINR	39

4.1.4.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja SINR	40
4.1.5.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja SINR	40
4.1.6.	Pengaruh Aplikasi Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja SINR.....	42
4.2.	Hasil Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> pada Pengaplikasian Sistem terhadap Kemunculan HeNB	43
4.2.1.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	43
4.2.2.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	44
4.2.3.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	45
4.2.4.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	46
4.2.5.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	47
4.2.6.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja <i>Throughput</i>	48
4.3.	Hasil Perbandingan Nilai BER pada Pengaplikasian Sistem terhadap Kemunculan HeNB	49
4.3.1.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja BER	49
4.3.2.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja BER	50
4.3.3.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja BER	51
4.3.4.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja BER	52
4.3.5.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja BER	53
4.3.6.	Pengaruh Aplikasi Penggabungan Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja BER.....	54
4.4.	Hasil Perbandingan Nilai CDF berdasarkan Nilai SINR Pada Pengaplikasian Sistem-Sistem Terhadap Kemunculan HeNBs	55

4.4.1. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja CDF SINR	55
4.4.2. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF SINR	56
4.4.3. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF SINR	57
4.4.4. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF SINR	58
4.4.5. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF SINR	59
4.4.6. Pengaruh Aplikasi Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja CDF SINR	60
4.5. Hasil Perbandingan Nilai CDF berdasarkan Nilai Throughput pada Pengaplikasian Sistem-Sistem Terhadap Kemunculan HeNBs	61
4.5.1. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja CDF Throughput	61
4.5.2. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF <i>Throughput</i>	62
4.5.3. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF <i>Throughput</i>	63
4.5.4. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF <i>Throughput</i>	64
4.5.5. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CDF <i>Throughput</i>	65
4.5.6. Pengaruh Aplikasi Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja CDF <i>Throughput</i>	66
4.6 Hasil Perbandingan Nilai CCDF berdasarkan Nilai BER Pada Pengaplikasian Sistem-Sistem Terhadap Kemunculan HeNBs	67
4.6.1. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR terhadap Kinerja CCDF BER.....	67
4.6.2. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 2 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CCDF BER	68
4.6.3. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CCDF BER	69
4.6.4. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CCDF BER.....	70
4.6.5. Pengaruh Aplikasi Penggabungan Sistem UDN RIS dengan Metode FFR dan Metode <i>Clustering</i> terhadap Kinerja CCDF BER.....	71

4.6.6. Pengaruh Aplikasi Keseluruhan Sistem terhadap Kinerja CCDF BER.....	72
4.7 Diskusi Hasil Penelitian dengan Penelitian Terdahulu.....	74
V. KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Kesimpulan	76
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 3.1 Parameter Simulasi Penelitian	29
Tabel 4.1 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu.....	73

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Road Map Penelitian	8
Gambar 2.2 Diagram Fishbone Penelitian	9
Gambar 2.3 (a) Bentuk sel yang sering digunakan, (b) Bentuk sel ideal, (c) Bentuk Nyata.....	10
Gambar 2.4 Ilustrasi konsep Pengaplikasian ulang frekuensi seluler	11
Gambar 2.5 Ilustrasi konsep dasar <i>handover</i>	12
Gambar 2.6 Model scenario Jaringan UDN [19]	13
Gambar 2.7 Jenis skema FFR; (a) <i>Reuse 3</i> , (b) Strict FFR, (c) SFR, (d) <i>Sectored FFR</i>	15
Gambar 2.8 Ilustrasi arsitektur (a) RIS Pasif dan (b) RIS aktif	16
Gambar 3.1 Sistem 1 berupa sistem jaringan UDN	22
Gambar 3.2 Diagram Alir Sistem 1.....	22
Gambar 3.3 Sistem 2 berupa sistem jaringan UDN dengan berbantuan RIS.....	23
Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem 2.....	23
Gambar 3.5 Sistem 3 Merupakan Jaringan UDN RIS dengan Metode Clustering	24
Gambar 3.6 Diagram Alir Sistem 3.....	24
Gambar 3.7 Sistem 4 berupa UDN RIS dengan metode FFR 2 Area	25
Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem 4.....	25
Gambar 3.9 Sistem 5 berupa UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area.....	26
Gambar 3.10 Diagram Alir Sistem 5.....	26
Gambar 3.11 Sistem 6 berupa UDN RIS FFR 2 Area dengan metode <i>Clustering</i>	27
Gambar 3.12 Diagram Alir Sistem 6.....	27
Gambar 3.13 Sistem 7 berupa UDN RIS FFR 3 Area dengan Metode Clustering	28
Gambar 3.14 Diagram Alir Sistem 7.....	28
Gambar 3.15 Model Kanal Two-ray	30
Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Nilai SINR pada Pengaplikasian Metode FFR.....	37
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Sistem6	38
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Sistem7	39
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	40
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Sistem Kombinasi.....	41
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	42
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Metode FFR.....	44

Gambar 4.8	Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Sistem 6	45
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Sistem 7	46
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	47
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Sistem Kombinasi.....	48
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan Nilai <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	49
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Metode FFR	50
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Sistem 6	51
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Sistem 7	52
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	53
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Sistem Kombinasi.....	54
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	55
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Metode FFR.....	56
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Sistem 6	57
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Sistem 7	58
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	59
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Metode Kombinasi	60
Gambar 4. 24	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	61
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan Nilai CDF <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Metode FFR.....	62
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan Nilai CDF <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Sistem 6	63
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan Nilai CDF SINR terhadap Pengaplikasian Sistem 7	64
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan Nilai CDF <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	65
Gambar 4.29	Grafik Perbandingan Nilai CDF <i>Throughput</i> terhadap Pengaplikasian Sistem Kombinasi.....	66

Gambar 4.30	Grafik Perbandingan Nilai CDF Throughput terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	67
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Metode FFR.....	68
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Sistem 6	69
Gambar 4.33	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Sistem 7	70
Gambar 4.34	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Metode <i>Clustering</i>	71
Gambar 4.35	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Sistem Kombinasi.....	72
Gambar 4.36	Grafik Perbandingan Nilai CCDF BER terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem	73

LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran A. Data Perbandingan Nilai SINR terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem.....	82
Lampiran B. Data Perbandingan Nilai Throughput terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem.....	87
Lampiran C. Data Perbandingan Nilai BER terhadap Pengaplikasian Keseluruhan Sistem.....	92

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang dan Permasalahan

Kebutuhan kapasitas pada jaringan seluler terus meningkat seiring berkembangnya teknologi dan bertambahnya pengguna seluler. Sehingga diperlukan sebuah teknologi yang mampu memenuhi tantangan tersebut untuk memberikan pengalaman yang baik bagi pengguna. *Ultra Dense Network (UDN)* adalah solusi yang dapat menjawab tantangan ini *UDN* merupakan salah satu teknologi untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan sumber daya radio dan throughput serta memenuhi tantangan dalam jaringan 5G [1], dengan penerapan densifikasi jaringan, di mana jaringan sel kecil (*femtocell*) digunakan secara padat dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja sistem jaringan dan mengurangi jarak fisik antara pemancar dan penerima. Kecepatan transmisi data dan kapasitas jaringan dapat ditingkatkan melalui lingkungan *UDN* dengan distribusi sel kecil yang padat dengan peningkatan pengaplikasian ulang frekuensi [2]. Dengan mempertimbangkan teknologi *UDN*, *UDN* dapat dilihat sebagai evolusi dari jaringan 4G dan 5G, *UDN* dapat dengan mudah diubah dalam *Heterogeneous Ultra-dense networks (HUDN)* dengan berbagai jenis Akses Point (AP) atau *Base Station (BS)*, dengan *femtocell* berdaya rendah, dan makrosel yang memiliki cakupan tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa setiap jaringan bergerak dapat berevolusi menjadi *UDN* jika diperlukan karena adanya permintaan trafik yang tinggi, atau padatnya pengguna yang berlebihan.

Terdapat teknologi lain yang dapat mendukung pengaplikasian teknologi seluler generasi selanjutnya yaitu *Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)*. *RIS* adalah teknologi yang memiliki kemampuan dalam menyelesaikan sinyal yang diblok oleh suatu penghalang, melalui komponen elemen yang dimilikinya dengan memantulkan sinyal yang datang ke arah tujuan yaitu penerima [3][4]. Sehingga *RIS* mudah untuk diaplikasikan seperti di dinding baik di dalam ruangan atau di luar ruangan yang mudah dalam menerima sinyal *Line of Sight (LOS)*[5]. *RIS* juga unggul dalam segi perangkat yang memiliki ukuran dan bobot yang ringan karena terbuat dari lapisan tipis, dengan antenna sebagai elemen di dalamnya.

Namun dalam penerapan teknologi yang telah disebutkan tadi, UDN dengan penyebaran sel-sel kecil yang padat ini menyebabkan terjadinya interferensi pada jaringan, ketika melakukan transmisi disaat base station mengirimkan daya sinyal ke arah user penerima. *Femtocell User Equipment (FUE)* ataupun *Macrocell User Equipment (MUE)* mengalami interferensi yang besar dari *ENodeB* dan juga *femtocell* lainnya yang menggunakan frekuensi yang sama sementara untuk pengaplikasian teknologi *RIS* ini tidak hanya memantulkan sinyal tetapi juga dapat memantulkan intereferensi ke arah penerima. Berdasarkan penelitian sebelumnya. dengan menerapkan *RIS* pada sistem ini mengalami penurunan kinerja ketika dibandingkan dengan skenario tanpa menggunakan *RIS*, sehingga dibutuhkan sebuah solusi untuk mengurangi efek interferensi yang terjadi pada permasalahan yang telah disebutkan.

Salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan mengaplikasikan teknik manajemen interferensi. Tentu saja banyak metode manajemen interferensi yang tersedia pada literatur, seperti pada penelitian [6] [7] yang membahas mengenai pengaplikasian metode alokasi daya dan *clustering* berdasarkan manajemen daya efisiensi energi. Pada penelitian ini teknik manajemen interferensi yang diaplikasikan adalah berbasis teknik *clustering* dan *Fractional Frequency Reuse (FFR)*. Teknik *clustering* mengelompokkan *femtocell-femtocell* yang dialokasikan dengan frekuensi berbeda dalam satu buah kluster. Penelitian [8] melakukan *clustering Modularity Based User Centric (MUC)*. Pada penelitian ini diaplikasikan pengaplikasian *clustering* berdasarkan jarak terhadap *femtocell-femtocell* yang memiliki frekuensi berbeda, teknik ini memperlebar jarak antara *femtocell* yang menggunakan frekuensi yang sama, diharapkan dengan pengaplikasian teknik ini, interferensi *co-channel* antara user yang memiliki frekuensi yang sama dapat berkurang. Selanjutnya pengaplikasian metode teknik *FFR* adalah skema mitigasi interferensi yang memungkinkan untuk faktor pengaplikasian ulang frekuensi yang berbeda dalam jangka waktu tertentu pada transmisi uplink dan downlink. *FFR* membagi sel menjadi beberapa wilayah yaitu wilayah dalam (*centre*) dan wilayah luar (*edge*), kemudian faktor pengaplikasian ulang frekuensi yang berbeda diterapkan di setiap wilayah yang telah dibagi sehingga interferensi berkurang [9].

Penelitian ini melakukan manajemen interferensi pada jaringan *UDN* dengan berbantuan teknologi RIS saat transmisi *downlink*. Metode yang digunakan adalah metode *clustering*, metode FFR dan metode kombinasi antara *clustering* dan FFR. Metode *clustering* diaplikasikan dengan tujuan untuk mengurangi interferensi antara pengguna yang berdekatan menggunakan frekuensi yang sama, sehingga dilakukan pengklusteran antara pengguna dengan alokasi band yang berbeda sehingga jarak antara pengguna dengan frekuensi yang sama semakin melebar sehingga mengurangi terjadinya interferensi *co-tier*. Metode FFR mengurangi nilai interferensi *cross-tier* dengan mengalokasikan sejumlah pengguna ke dalam beberapa wilayah dengan alokasi kanal yang berbeda. Penggabungan kedua metode ini dapat mengurangi terjadinya interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier* dan menghasilkan peningkatan nilai *Signal to Interference plus Noise Ratio* (SINR), *throughput* dan *Bit Error Rate* (BER). SINR, *throughput* dan BER menjadi parameter kinerja yang diuji dan dianalisis terhadap pengaplikasian metode yang diusulkan pada penelitian ini. Analisis SINR dilakukan untuk mendapatkan nilai daya sinyal yang diterima oleh FUE terhadap interferensi yang terjadi pada sistem jaringan. Analisis *throughput* dilakukan untuk mengetahui kecepatan pengiriman data yang diterima oleh FUE secara aktual dalam dalam jangka waktu tertentu. Sedangkan analisis BER untuk mengetahui seberapa banyak kesalahan bit per satuan waktu dalam pengiriman bit berdasarkan total bit yang dikirimkan. Dengan tiga parameter yang diujikan pada simulasi, dilakukan perbandingan hasil yang didapatkan dengan metode-metode yang diusulkan, diharapkan dari hasil yang diperoleh dapat menganalisis hasil yang sesuai dengan kinerja jaringan yang dibutuhkan berdasarkan nilai *Quality of Service* (QoS).

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana Metode Clustering dan Metode *FFR* dapat menyelesaikan interferensi pada jaringan *UDN* berbantuan *RIS* ?
2. Bagaimana perbandingan hasil performansi jaringan berupa *SINR*, *throughput* dan *BER* dengan pengaplikasian metode yang diusulkan?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan dijelaskan sebagai berikut:

1. Mengatasi permasalahan interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier* yang terjadi dengan pengaplikasian teknologi jaringan *UDN* dan penambahan *RIS* pada skenario jaringan multisel dengan transmisi *downlink* dengan metode clustering dan metode *FFR*.
2. Menganalisis hasil perbandingan performansi jaringan berdasarkan parameter kinerja dari *SINR*, *throughput*, dan *BER* yang dialami pada sisi user, dengan menggunakan metode *clustering*, metode *FFR* dan penggabungan kedua metode tersebut.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis hasil performansi jaringan berdasarkan parameter kinerja dari *SINR*, *throughput*, dan *BER* yang dialami pada sisi user, dengan menggunakan metode *clustering*, metode *FFR* dan gabungan kedua metode.
2. Penelitian dapat dijadikan sebagai referensi untuk perkembangan lebih lanjut pengaplikasian metode-metode yang dapat mengurangi interferensi jaringan sehingga sistem jaringan bekerja lebih baik.

1.5. Batasan Masalah

Batasan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Skenario pada penelitian menggunakan tiga buah makrosel dengan *femtocell* yang disebarkan secara padat didalamnya sebanyak 210 *femtocell*.

2. Hanya memperhitungkan interferensi saat transmisi *downlink*.
3. Tidak membahas *device* dari *RIS* secara lebih rinci.
4. Penelitian hanya menjelaskan hasil dari *SINR*, *throughput* dan *BER*.

1.6. Hipotesis Penelitian

Hipotesis dari penelitian ini adalah dengan pengaplikasian teknik *clustering* berbasis jarak, dapat mengurangi terjadinya interferensi antar *femtocell* yang berdekatan yang memiliki frekuensi yang sama dengan melakukan pengelompokkan antara femtocell kedalam satu kluster. Sehingga *femtocell* yang memiliki frekuensi sama, jaraknya semakin melebar dan interferensi *co-tier* berkurang. Efek interferensi *cross-tier* pada jaringan *UDN* juga dapat dihilangkan dengan mengaplikasikan metode teknik *FFR* dari ENodeB dengan melakukan alokasi kanal frekuensi dengan membagi cakupan makrosel menjadi beberapa area. Dengan menggabungkan kedua metode yaitu metode *clustering* dan metode *FFR*, intereferensi *cross-tier* dan interferensi *co-tier* pada jaringan *UDN* dapat diminimalkan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Penelitian proposal ini mengacu pada penelitian-penelitian yang sebelumnya telah dilakukan, melalui studi literatur mengenai manajemen interferensi pada jaringan *UDN* dengan penambahan *RIS* berdasarkan teknik *FFR* dan *Clustering*.

Penelitian [11] mengevaluasi pengaplikasian tiga skema *FFR* yaitu skema *FFR-3*, skema *FFR-6* dan *FFR* yang diusulkan pada jaringan *HetNets*. Skema yang diusulkan memiliki tujuan untuk meminimalkan interferensi pada pengguna makro di tengah sel. Skema yang diusulkan membagi sel menjadi dua area, yaitu area tengah dan area tepi, lalu membagi tiap area menjadi enam sektor. Begitu juga dengan band frekuensi yang dibagi menjadi 12 *sub-band* untuk diaplikasikan pada masing-masing sektor. Skema yang diusulkan menunjukkan terjadinya pengurangan yang signifikan pada interferensi karena semua *MUE* yang berada di tengah sel dan di wilayah tepi mengalami interferensi hanya dari satu makrocel di tingkat pertama. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema yang diusulkan mengungguli skema *FFR* lainnya dalam segi nilai *throughput* dan *outage probability* terutama pada tepi sel. Interferensi juga mengalami penurunan, hal ini memberikan efek pada persentase pengguna menggunakan skema modulasi yang lebih tinggi meningkatkan kecepatan data system secara keseluruhan.

Penelitian [12] mengusulkan skema *FFR* untuk mengatasi *cross-interference* pada transmisi *downlink* antara sel makro dan *femtocell*. Dalam skema yang diusulkan, cakupan sel makro dibagi menjadi area tengah dan area tepi dengan pembagian tiga sektor untuk masing-masing area tersebut. *Sub-band* frekuensi yang berbeda diaplikasikan untuk setiap area. Pada area tengah menggunakan *FRF-1* dan area tepi menggunakan *FRF-3*. Untuk *femtocell* yang diposisikan pada area tengah, *femtocell* menghindari pengaplikasian *sub-band* yang digunakan oleh sel makro di bagian area tepi. Hasil simulasi menunjukkan nilai *SINR* dan *throughput* mengalami kenaikan, dan telah dibuktikan dengan menggunakan metode yang diusulkan secara efektif mendukung lebih banyak pengguna dengan nilai *outage*

probability dan kinerja sistem lebih baik dibandingkan dengan pengaplikasian skema lain.

Penelitian [13] membahas pengaplikasian skema *Clustering-Assisted Resource Allocation (CARA)* untuk mengurangi interferensi antara sel-sel pada jaringan *UDN*. Skema yang diusulkan memiliki tiga tahapan. Tahapan pertama adalah menerapkan *Interference Limited Clustering Algorithm (ILCA)* yaitu mengelompokkan *Femtocell Base Station (FBS)* ke dalam cluster yang terpisah-pisah, dan *cluster head* dipilih untuk setiap *cluster*. Tahap kedua yaitu alokasi sub-band untuk pengguna cluster. Terakhir yaitu menggunakan metode alokasi daya yang dirancang dalam memaksimalkan nilai *throughput* untuk konfigurasi clustering dan sub-kanal tertentu. Hasil simulasi menunjukkan bahwa skema yang diusulkan mendistribusikan *FBS* ke dalam setiap *cluster* secara lebih merata, dan secara signifikan meningkatkan nilai *throughput* sistem, dan meningkatkan kecepatan data dari sistem secara keseluruhan.

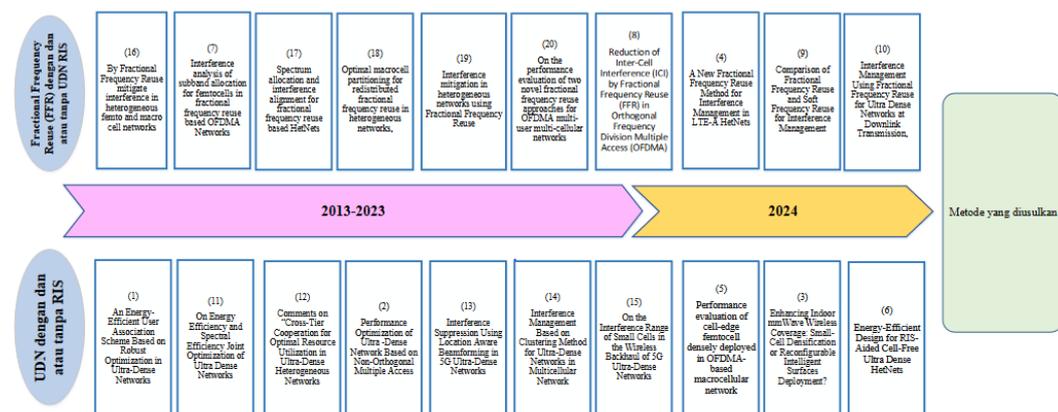
Penelitian [14] mempertimbangkan pengusulan pengaplikasian Algoritma *K-Nearest Neighbor (KNN)* untuk mengalokasikan pengguna ke dalam klaster pada jaringan *UDN*. Di setiap klaster, pengguna dijadwalkan di antara sel-sel yang dikoordinasikan untuk beradaptasi dengan *beam forming* dan alokasi daya. Pengguna yang dijadwalkan dipilih dengan algoritma *greedy scheduling*, dengan pembagian proporsional dan maksimalisasi *rate*. Algoritma ini dapat mengelompokkan *K*-pengguna dalam satu waktu yang mempercepat pengelompokan. Hasil numerik menunjukkan bahwa algoritma *KNN* yang diusulkan secara signifikan mengungguli algoritma *k-means clustering* dalam *throughput* sistem, yang mengindikasikan properti penyediaan kinerja yang unggul. Algoritma *KNN*, telah mencapai *tradeoff* yang baik antara keuntungan dan biaya karena pengelompokan dan pemrosesan yang kooperatif.

Penelitian [15] membahas jaringan nirkabel untuk multi-user dengan bantuan *RIS*. Penelitian mempelajari pengaplikasian algoritma alokasi sumber daya untuk beberapa scenario. Pertama yaitu mengusulkan dengan mempertimbangkan estimasi saluran dengan memperhatikan komponen pengguna seluler ke *RIS* dan *RIS* ke base station. Selanjutnya pada pengguna tunggal, dilakukan pendekatan untuk mengoptimalkan nilai *SINR*. Kemudian pada sistem multi-seluler dua sel

dengan mengasumsikan *beamformer* disesuaikan dengan kanal, rata-rata geometris dari Rasio Sinyal-ke-Interferensi downlink ditambah Rasio *Noise* di seluruh pengguna dimaksimalkan. Dalam skenario ini, *RIS* ditempatkan di tepi sel dan beberapa pengguna dilayani bersama oleh dua *BTS* untuk meningkatkan kinerja sistem. Hasil numerik menunjukkan bahwa prosedur yang diusulkan efektif dan *RIS* membawa peningkatan kinerja yang substansial untuk nirkabel sistem. Penelitian ini telah menangani masalah dalam maksimalisasi SNR sehubungan dengan konfigurasi *RIS* dan *beamformer* BS untuk pengaturan pengguna tunggal. Untuk skenario multi-pengguna multi-sel. Hasil yang diperoleh telah menunjukkan terjadinya peningkatan kinerja sistem dengan adanya *RIS*.

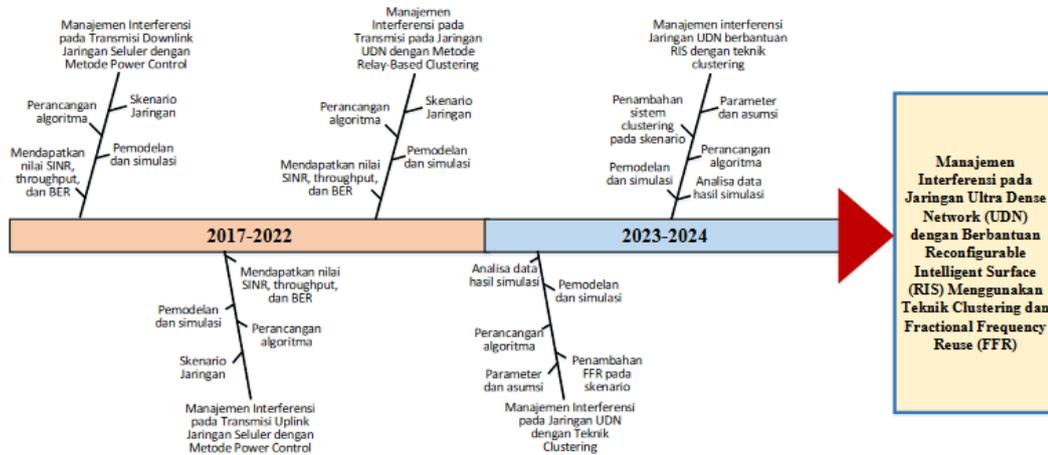
Penelitian [16] mempertimbangkan sistem multi-band multi-sel dengan bantuan *IRS*, di mana *base station (BS)* yang berbeda beroperasi pada pita frekuensi yang berbeda. Tujuannya untuk merancang beamforming pemancaran BS dan beamforming refleksi *IRS* untuk meminimalkan daya pancar total yang tunduk pada batasan rasio sinyal terhadap *interference-plus-noise (SINR)* dari masing-masing pengguna dan model refleksi *IRS* praktis. Dengan bantuan model pergeseran fasa, pengaruh antara sinyal dengan frekuensi yang berbeda diperhitungkan. Hasil simulasi menggambarkan pentingnya mempertimbangkan skenario komunikasi praktis pada desain *IRS* dan memvalidasi keefektifan algoritma yang diusulkan.

Penelitian ini mengikuti peta jalan yang sudah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1 Road Map Penelitian

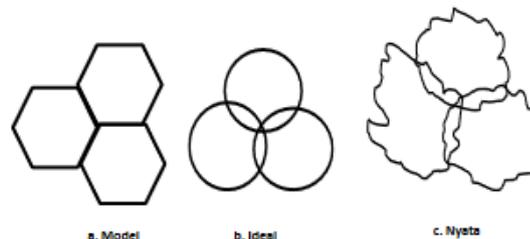
Diagram alir penelitian ini ditampilkan dalam diagram *fishbone* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2 Topik penelitian pada kotak kuning adalah topik penelitian yang telah dilaksanakan pada penelitian ini.



Gambar 2.2 Diagram *Fishbone* Penelitian

2.2. Konsep Seluler

Konsep seluler didasari pada pemecahan masalah untuk mengatasi keterbatasan spektrum frekuensi dengan menawarkan kapasitas yang tinggi dalam spektrum yang terbatas. Dengan gagasan pergantian pemancar berdaya tinggi dengan cakupan area yang luas menjadi pemancar berdaya rendah, dengan daerah area cakupan yang kecil pada area yang dilayani. Sehingga kapasitas tinggi dapat dicapai dengan membatasi area cakupan base station pada suatu area geografis kecil yang disebut sel. Sel adalah gambaran dari suatu cakupan area, dengan tiap sel nya dialokasikan pada satu *band* frekuensi, frekuensi yang sama tidak bisa saling berkedekatan, karena menyebabkan terjadinya interferensi. Penggambaran cakupan area secara geografis sel untuk sistem seluler adalah berbentuk heksagonal. Bentuk sel pada system seluler digambarkan dibawah ini.



Gambar 2.3 (a) Bentuk sel yang sering digunakan, (b) Bentuk sel ideal, (c) Bentuk Nyata

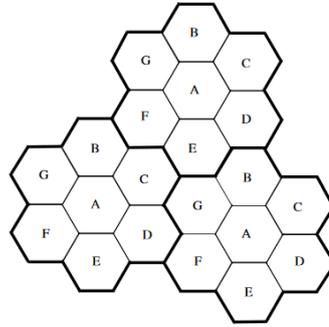
Sel kecil sebagai salah satu komponen utama dalam infrastruktur jaringan untuk 4G dan 5G, di mana sel kecil ini dapat memperluas jangkauan dan kapasitas jaringan pada lokasi yang padat. Berikut ini dua jenis sel kecil, yaitu

1. **Picocell** adalah *base station* kecil yang dipasang oleh operator untuk mencakup area cakupan kecil dalam kisaran seratus meter. Biasanya *picocell* digunakan di *hotspot* (dalam ruangan atau luar ruangan) untuk melayani puluhan pengguna aktif dengan membongkar lalu lintas mereka dari *macrocell*. Kekuatan transmisi *picocell* biasanya hingga 33 dBm, dan digunakan untuk tujuan kapasitas.
2. **Femtocell** terdiri dari *base station* kecil yang dipasang oleh operator untuk menjangkau area cakupan kecil dalam jarak seratus meter. Daya pancar *femtocell* biasanya kurang dari 20 dBm dan jangkauannya berkisar puluhan meter. Dengan demikian, *femtocell* memberikan kekuatan sinyal dalam ruangan yang besar untuk pengguna rumahan di mana sebagian besar lalu lintas data dihasilkan. *Femtocell* dapat dihubungkan ke jaringan melalui salah satu koneksi broadband konsumen seperti *Digital Subscriber Line (DSL)*, kabel, atau *fiber*, untuk melayani puluhan pengguna aktif dengan melepaskan trafik mereka dari *macrocell*.

2.2.1. Frequency Reuse

Pengaplikasian ulang frekuensi mengacu pada pengaplikasian saluran radio pada frekuensi pembawa yang sama untuk menjangkau area yang berbeda yang terpisah satu sama lain dengan jarak yang cukup jauh sehingga interferensi antar saluran tidak mengganggu. Ide untuk menggunakan pengaplikasian ulang frekuensi dalam layanan telepon bergerak mengusulkan untuk penyedia layanan dapat menggunakan pemancar dengan daya yang lebih rendah untuk mencakup seluruh area lokal dari satu lokasi pemancar dengan daya yang tinggi. Setiap lokasi terutama mencakup beberapa subarea, atau area, atau "sel". Sebuah sel menandakan area di mana sebuah lokasi pemancar tertentu merupakan lokasi yang paling mungkin melayani panggilan telepon seluler. Melalui pengaplikasian ulang

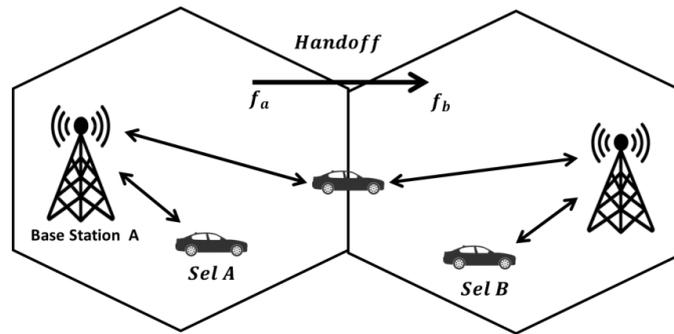
frekuensi, sistem telepon seluler dalam satu area cakupan dapat menangani jumlah panggilan simultan yang jauh melebihi jumlah total frekuensi telepon yang dialokasikan. Pada Gambar 2.4 digambarkan sel dengan huruf yang sama menggunakan rangkaian frekuensi yang sama. Dalam contoh ini, ukuran *cluster*, N , sama dengan tujuh, dan faktor pengaplikasian ulang frekuensi adalah $1/7$ karena setiap sel berisi sepertujuh dari jumlah total saluran yang tersedia



Gambar 2. 4 Ilustrasi Konsep Pengaplikasian Ulang Frekuensi Seluler

2.2.2. Handoff

Ketika perangkat seluler berpindah ke sel yang berbeda ketika percakapan sedang berlangsung, *Mobile Switching Center* (MSC) secara otomatis memindahkan panggilan ke saluran baru milik base station yang baru. Perpindahan ini tidak hanya melibatkan identifikasi stasiun pangkalan baru, tetapi juga mengharuskan sinyal suara dan sinyal kontrol dialokasikan ke saluran yang terkait dengan stasiun pangkalan baru. Memproses *handoff* adalah tugas penting dalam sistem radio seluler. Banyak strategi *handoff* memprioritaskan permintaan *handoff* di atas permintaan inisiasi panggilan ketika mengalokasikan saluran yang tidak terpakai di dalam sel situs. Untuk memenuhi persyaratan ini, perancang sistem harus menentukan sinyal yang optimal untuk memulai *handoff*. Setelah *level* sinyal tertentu ditentukan sebagai *level* minimum yang dapat digunakan sinyal untuk kualitas suara yang dapat diterima di penerima *base station* (biasanya diambil antara -90 dBm dan -100 dBm), tingkat sinyal yang sedikit lebih kuat digunakan sebagai ambang batas untuk melakukan *handoff*.



Gambar 2.5 Ilustrasi konsep dasar *handover*

2.2.3. Interferensi dan Kapasitas Sistem Seluler

Pada sistem radio seluler, interferensi adalah salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja sistem seluler. Interferensi dapat disebabkan oleh pengguna atau *mobile station* yang berada pada satu sel yang sama, dan terjadinya proses komunikasi yang berlangsung secara bersamaan dengan base station yang bekerja dengan penggunaan frekuensi yang sama. Terdapat dua jenis interferensi pada system seluler yaitu, *co-channel interference* dan *adjacent channel interference*. *Co-channel interference* adalah interferensi yang terjadi karena pengaplikasian pengulangan frekuensi yang sama pada beberapa sel. Sedangkan *adjacent channel interference* adalah interferensi yang disebabkan oleh sinyal yang frekuensinya berdekatan dengan sinyal yang diinginkan menyebabkan terjadinya interferensi kanal yang berdekatan.

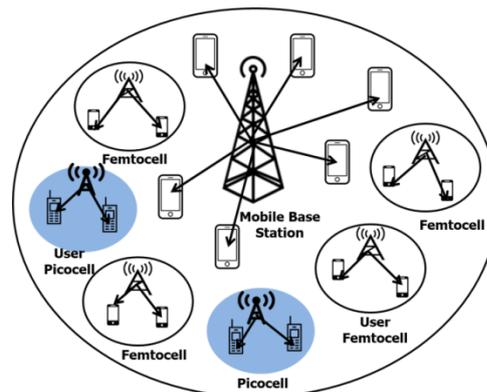
2.3. Ultra Dense Network

Ultra dense network adalah jaringan yang terdiri dari sejumlah sel dengan pengguna aktif didalamnya. Sel-sel kecil ini adalah *node* akses dengan daya transmisi yang kecil, sehingga memiliki cakupan yang dekat. Sel-sel ini ditempatkan secara padat dengan tujuan untuk meningkatkan kinerja jaringan. Lokasi *node UDN* harus memenuhi kriteria dengan probabilitas yang tinggi, penempatan UDN ini bertujuan untuk mengurangi jarak fisik antara pemancar dan penerima untuk meningkatkan kinerja sistem dan meningkatkan nilai indikator kinerja (KPI). Sel-sel kecil ini biasanya ditempatkan oleh operator di jalan-jalan (misalnya, di tiang lampu, pohon, dan dinding) dan titik-titik keramaian (misalnya,

bandara, stasiun metro/kereta api, dan pasar). Dengan demikian, skenario penyebaran *UDN* memperkenalkan lingkungan cakupan yang berbeda di mana setiap pengguna berada.

Pada penelitian [17] memberikan ukuran kuantitatif dari kepadatan pada sebuah jaringan (≥ 103 sel/km²). Pada kenyataannya, definisi pertama menyatu dengan definisi kedua mengingat kepadatan pengguna aktif yang dipertimbangkan dalam skenario perkotaan yang padat adalah sekitar 600 pengguna aktif/km². Secara umum, sel-sel kecil di *UDN* dapat diklasifikasikan menjadi *base station* (*BS*) yang berfungsi penuh untuk sel kecil (*picocell* dan *femtocell*) dan titik akses ekstensi makro (relay dan *Remote Radio Head (RRH)*). Selain itu, sel kecil memiliki kemampuan, daya transmisi, cakupan, dan skenario penyebaran yang berbeda. Berikut adalah fitur-fitur sel kecil yang akan dijelaskan pada [18].

Berikut adalah salah satu model skenario *UDN* yang digambarkan berdasarkan penelitian [19]. Dipertimbangkan skenario *UDN downlink* dengan tiga tingkatan. Tingkat satu terdiri dari *Mobile Base Station (MBS)* tradisional yang ditempatkan di pusat *UDN*, dengan *picocell* dan *femtocell* sebagai tingkat dua dan tingkat tiga yang disebarakan secara acak dia area cakupan MBS dalam jaringan.



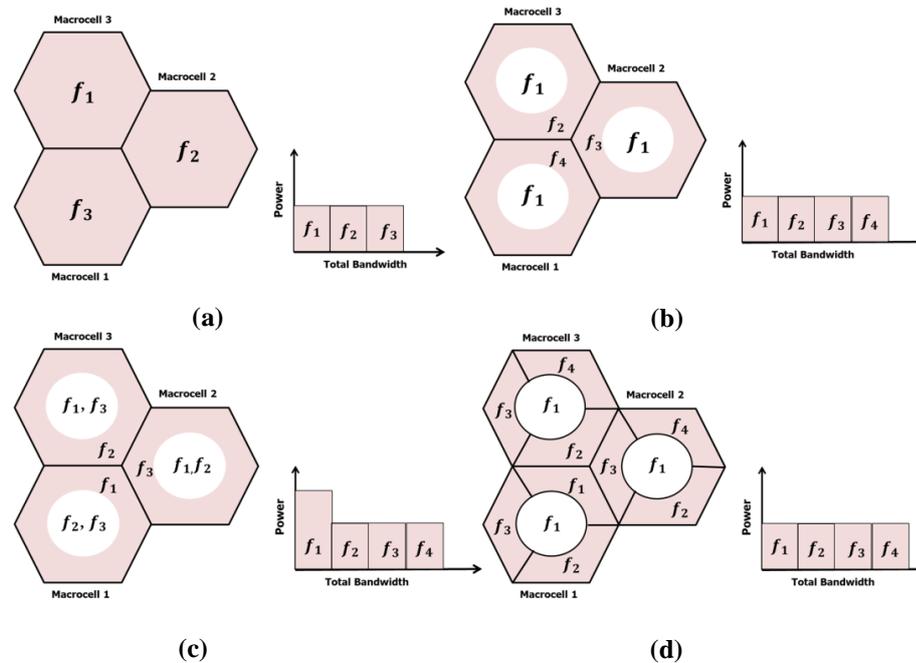
Gambar 2.6 Model skenario Jaringan *UDN* [19]

2.4. Fractional Frequency Reuse (FFR)

Fractional Frequency Reuse (FFR) adalah skema mitigasi interferensi yang memungkinkan pengaplikasian faktor ulang frekuensi yang berbeda pada partisi frekuensi yang berbeda dalam interval waktu tertentu pada transmisi *downlink* dan *uplink*. *FFR* membagi seluruh sumber daya yang tersedia ke dalam dua kelompok, yaitu, kelompok major dan kelompok minor, yang masing-masing melayani pengguna di tepi sel dan pengguna di pusat sel. *FFR* adalah metode yang efektif

untuk mengurangi tingkat tingkat interferensi antar sel (*ICI*) [20]. Ada tiga jenis utama sistem pengaplikasian ulang frekuensi untuk mitigasi *ICI* yaitu *Strict FFR*, *Soft FFR* (*SFR*) dan *Sectored FFR* dijelaskan berdasarkan Gambar 2.7

- ***Strict FFR*** mengalokasikan *bandwidth* ke dalam *sub-band* bagian dalam dan luar adalah strategi yang digunakan untuk mengelola frekuensi dalam suatu sel. Sub-band bagian dalam ditempatkan di sekitar *Base Station* (*BS*) di pusat sel dan menggunakan frekuensi yang dipakai kembali. Sedangkan sub-band bagian luar berada di pinggiran sel dan menggunakan pengaplikasian frekuensi yang lebih besar dari satu untuk mengurangi *Inter-Cell Interference* (*ICI*) di wilayah tepi sel. *Strict Fractional Frequency Reuse* (*FFR*) merupakan solusi yang efektif dan layak untuk masalah *ICI* karena dapat meningkatkan *throughput* pengguna di wilayah tepi sel. Konsep ini pertama kali diterapkan dalam jaringan GSM [21].
- ***Soft FFR* (*SFR*)** diusulkan sebagai solusi untuk meningkatkan total *throughput* sel dari *FFR*. Dalam *SFR*, seluruh *bandwidth* digunakan secara bersama-sama oleh semua *BTS*. *Bandwidth* ini dibagi menjadi *sub-bands* major dan minor yang diatur oleh kontrol daya. *Sub-bands* major dialokasikan untuk pengguna di tengah dan tepi sel, sedangkan *sub-bands* minor hanya diperuntukkan bagi pengguna di tengah. Daya transmisi pada *sub-bands* mayor lebih besar dibandingkan dengan *sub-bands* minor. Konfigurasi *SFR* dengan *frequency reuse* tiga dapat dilihat pada Gambar 2.7(c)
- ***Sectored* FFR** menggunakan konsep partisi yang serupa dengan *Strict FFR*, namun dengan memanfaatkan antena *directional* untuk pengguna di pinggiran sel, sehingga memungkinkan pemanfaatan spektrum yang tersedia dengan lebih efisien serta mengurangi gangguan bagi pengguna di tepi sel. Pendekatan ini juga memanfaatkan antena *omni-directional* tunggal untuk pengguna di tengah sel, sehingga mencapai pengaplikasian ulang frekuensi tunggal seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.7(d). Hal ini menyebabkan pemanfaatan *bandwidth* yang lebih efisien di setiap sel, menghasilkan tingkat interferensi yang lebih rendah. *Sectored FFR* mengatasi *trade-off* antara *Strict FFR* dan *SFR*, meskipun dengan mengorbankan kompleksitas sistem dan biaya yang lebih tinggi [22].



Gambar 2. 7 Jenis skema FFR; (a) *Reuse 3*, (b) *Strict FFR*, (c) *SFR*, (d) *Sectorized FFR* [22]

2.5. Teknik Clustering

Teknik *Clustering* digunakan dalam jaringan telekomunikasi untuk mendesain dalam mengelola pengaplikasian energi jaringan secara efisien, dengan meminimalkan jumlah pengguna yang berkomunikasi jarak jauh dengan *base station* dan mendistribusikan konsumsi energi secara merata di antara pengguna jaringan. Dalam pengelompokan, user-user dibagi ke dalam kelompok-kelompok yang berbeda. Ada dua pendekatan dalam melakukan teknik pengelompokan, yaitu *clustering* terpusat dan *clustering* terdistribusi. Dalam *clustering* terpusat, *BS* bertanggung jawab untuk memilih node yang akan menjadi *cluster head (CH)* dalam setiap kelompok klaster. *BS* membutuhkan informasi mengenai setiap node untuk memilih *CH* paling sesuai. Syarat yang menjadi penentuan adalah dari lokasi node di area yang diamati dan sisa *energy node*. *Clustering* terdistribusi dapat memilih untuk menjadi *CH* atau tidak.

2.6. Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS)

Reconfigurable Intelligent Surfaces (RIS) merupakan teknologi nirkabel baru yang menjanjikan untuk memenuhi tuntutan jaringan nirkabel yang terus meningkat pada jaringan 5G bahkan 6G [23]. *RIS* dapat mengatur sinyal radio antara pemancar

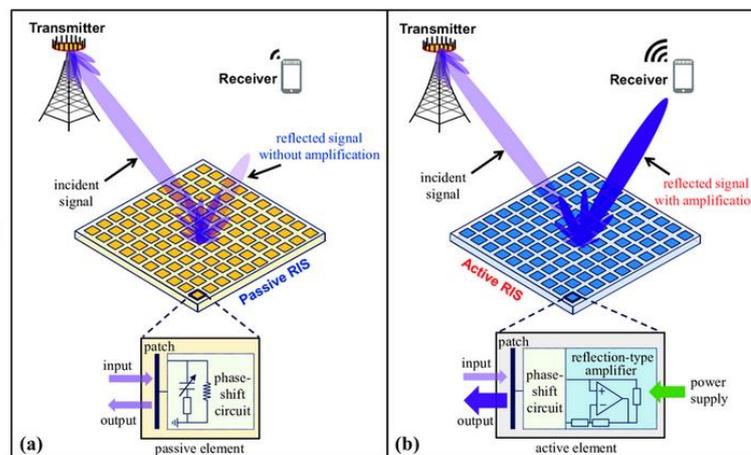
dan penerima secara dinamis dan berorientasi pada tujuan, dengan mengubah lingkungan nirkabel menjadi sebuah layanan [24]. *RIS* berbentuk permukaan planar yang terdiri dari sejumlah besar elemen pemantul pasif, yang dapat menginduksi amplitudo. Setiap elemen memiliki kemampuan untuk secara mandiri mengontrol perubahan fasa pada sinyal yang datang. Sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem komunikasi dan diharapkan konsumsi daya jaringan dapat berkurang dengan mengendalikan propagasi gelombang elektromagnetik yang bergerak, dengan kemampuan tambahan rekonfigurasi dan kontrol elemen antena *RIS* yang dapat disesuaikan. Berikut dua jenis *RIS* berdasarkan penelitian, yaitu :

a) **RIS Aktif**

RIS aktif dan *RIS* pasif bekerja dengan memantulkan sinyal datang dengan menyesuaikan pergeseran fasa. Namun dibandingkan dengan *RIS* pasif, *RIS* aktif dapat memantulkan dan memperkuat sinyal yang datang pada setiap elemen reflektifnya dibantu oleh beban aktif [25]. Konsumsi daya dengan berbantuan *RIS* aktif lebih tinggi dibandingkan dengan *RIS* pasif.

b) **RIS Pasif**

RIS pasif terdiri dari banyak elemen reflektor pasif, di mana setiap elemen mampu memantulkan sinyal yang datang dengan penggeseran fase yang dapat diatur. Dengan menyesuaikan konfigurasi secara akurat untuk mengendalikan sinyal yang dipantulkan oleh elemen-elemen *RIS* agar secara koheren ditambahkan dengan fase yang sama pada penerima, dapat dicapai peningkatan gain array yang signifikan.



Gambar 2.8 Ilustrasi arsitektur (a) *RIS* Pasif dan (b) *RIS* aktif [26]

2.7. Daya Noise

Daya *Noise* atau N_o adalah total derau yang diukur dalam satuan bandwidth tertentu yang ditimbulkan karena terjadinya gangguan kualitas sinyal yang terjadi pengiriman dan penerimaan data pada bagian pemancar dan penerima. Derau dihasilkan secara acak oleh getaran elektron dalam material yang disebabkan oleh suhu. *Noise thermal* memiliki Persamaan (2.1) sebagai berikut [27]:

$$N_o = k.T.B \quad (2.1)$$

di mana :

N_o : Daya *Noise* (dBW/Hertz)

k : Konstanta *Boltzman* ($1,38 \times 10^{-23}$ W/Kelvin-Hz)

T : Suhu (Kelvin)

B : Kanal *bandwidth* yang digunakan (Hertz)

2.8. Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR)

SINR merupakan perbandingan atau rasio antara daya sinyal yang diharapkan terhadap daya sinyal interferensi dan noise. Berikut persamaan nilai *SINR* [28]

$$SINR (dB) = 10 \times \log_{10} \frac{S}{I+N_o} \quad (2.2)$$

S : Daya sinyal yang diharapkan(Watt)

I : Daya interferensi dari base station (Watt)

N_o : Daya *Noise* (Watt)

2.9. Throughput

Throughput adalah jumlah data aktual yang mengukur seberapa banyak data yang diterima, berdasarkan kecepatan data maksimum yang ditransmisikan melalui jaringan atau sistem komunikasi dalam periode waktu tertentu. *Throughput* dapat dihitung dengan kapasitas *Shannon* menggunakan Persamaan (2.3) yang ditunjukkan di bawah ini [29].

$$T (bps) = B \times \log_2(1 + SINR) \quad (2.3)$$

T : Kapasitas maksimum kanal (bit)

B : Kanal *Bandwidth* (Hertz)

2.10. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah total kesalahan bit yang diterima pada kumpulan data melalui jalur komunikasi yang telah berubah karena *noise*, gangguan, atau ketidakcocokan bit sinkronisasi. Rincian perhitungan *BER* dijelaskan dalam sebuah persamaan (2.4) [30].

$$BER_{FUE} = \frac{3}{4} Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} x \frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (2.4)$$

Q : Fungsi Q

$\frac{E_b}{N_o}$: Rasio energi per bit terhadap kerapatan daya *spectral noise*

M : Jumlah symbol modulasi yang digunakan yaitu 16-QAM

2.11. Outage Probability

Outage Probability adalah kemungkinan daya penerima turun di bawah ambang batas r (nilai yang terkait dengan parameter kinerja), yang mengindikasikan bahwa penerima berada di luar jangkauan *ENodeB* dalam konteks komunikasi seluler. Fungsi *Cumulative Distribution Function (CDF)* adalah metode yang digunakan untuk memperkirakan probabilitas interferensi, di mana *CDF* digunakan untuk menghitung probabilitas kumulatif nilai distribusi kontinu skalar. Perhitungan untuk menilai nilai *SINR* dan throughput menggunakan *CDF* dijelaskan pada Persamaan (2.5), bersama dengan perhitungan throughput menggunakan *CDF* yang diuraikan dalam Persamaan (2.6)

$$P_{OUT}(SINR \leq r) = P[SINR \leq r] \quad (2.5)$$

$$P_{OUT}(C \leq r) = P[B * \log_2(1 + SINR) \leq r] \quad (2.6)$$

Complementary Cumulative Distribution Function (CCDF) adalah fungsi yang menghasilkan nilai yang berbanding terbalik dengan *CDF*. Biasanya, fungsi ini digunakan untuk menghitung tingkat kegagalan atau *BER*. Berikut ini adalah langkah-langkah perhitungan untuk menentukan nilai *BER* dengan menggunakan fungsi *CCDF*, yang dijelaskan melalui persamaan (2.7) seperti yang telah dijelaskan dalam penelitian [28].

$$P_{OUT}(BER \geq r) = P[BER \geq r] \quad (2.7)$$

2.12. QOS

Quality of Service (QOS) adalah kemampuan jaringan dalam memberikan sebuah layanan yang memenuhi kebutuhan dengan memastikan penyediaan *bandwidth* yang memadai untuk memperhitungkan jitter dan latensi pada suatu jaringan. Kualitas Layanan bertujuan untuk memberikan prioritas kepada jenis lalu lintas tertentu, seperti yang membutuhkan *bandwidth* yang stabil atau tetap, latensi yang terkontrol, serta mengurangi kehilangan paket data dan jitter [31].

Tabel 2.1 Paramater QOS [31]

Nilai SINR (dB)	Nilai <i>Throughput</i> (Mbps)	Keterangan
12 - 30	30 – 100	Terbaik
8 - 12	20 – 30	Sangat Baik
6 - 8	10 – 20	Baik
0 - 6	0 – 10	Buruk
< 0	< 0	Sangat Buruk

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah satu unit laptop dengan software MATLAB sebagai wadah untuk melakukan desain simulasi skenario jaringan dan melakukan analisis hasil dari parameter kinerja yang akan diuji.

3.2. Metode Penelitian

Dalam mencapai tujuan penelitian, diperlukan penerapan metode pemodelan sistem dan simulasi. Langkah-langkah yang diambil guna mencapai tujuan yang diinginkan dapat diuraikan sebagai berikut. Tahapan awal pada penelitian ini, peneliti melakukan kajian teori yang relevan dengan topik penelitian. Referensi untuk pemahaman teori ini diperoleh dari berbagai sumber ilmiah, termasuk jurnal, buku, dan situs web resmi yang terkait dengan bidang penelitian yang diujikan pada penelitian ini, sebagai berikut :

1. Konsep Jaringan Seluler
2. *Ultra Dense Network (UDN)*
3. *Reconfigurable Intelligent Surface (RIS)*
4. Teknik *Clustering*
5. Teknik *Fractional Frequency Reuse (FFR)*
6. Perhitungan parameter kinerja nilai *SINR*, nilai *throughput*, dan nilai *BER*

3.2.1. Pemodelan Sistem

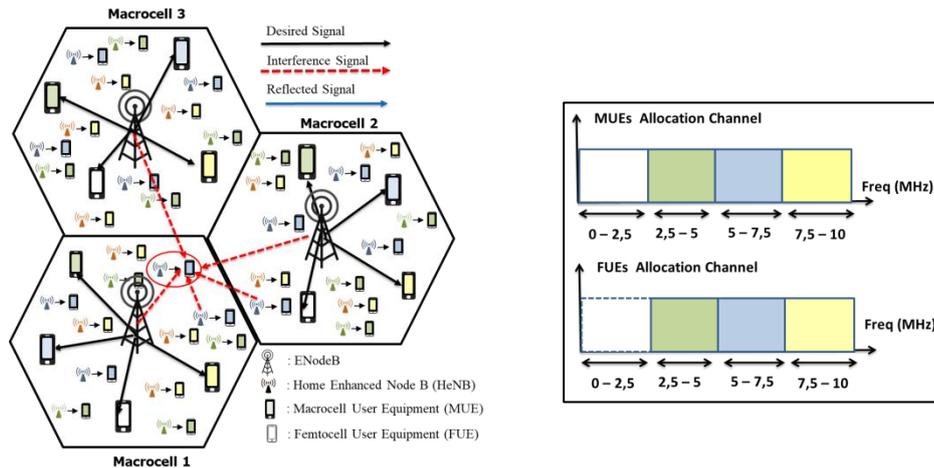
Penelitian menerapkan pengaplikasian beberapa sistem yang diujikan, dalam manajemen interferensi pada sistem jaringan *UDN* multiseluler, terlebih dahulu memahami pengaruh interferensi antara sistem seluler konvensional tanpa menerapkan skenario yang diusulkan dengan sistem *UDN* yang telah menerapkan skenario yang diujikan. Pada makrosel diterapkan *Frequency Reuse Factor (FRF)* sebesar 1 dengan melakukan transmisi secara downlink. Selanjutnya dilakukan penyebaran *user equipment (UE)* secara acak dengan pendistribusian secara

uniform pada setiap makrosel berupa *MUE* dan *FUE*. Berdasarkan skenario, satu buah *RIS* diletakkan pada sisi tepi makrosel dibagian tengah sel. Pengaplikasian *RIS* dapat meningkatkan penerimaan daya sinyal *FUE* karena *RIS* memiliki kemampuan dalam memantulkan sinyal dari base station ke arah penerima. Namun, *RIS* juga dapat memantulkan interferensi dari sumber atau pemancar tersebut.

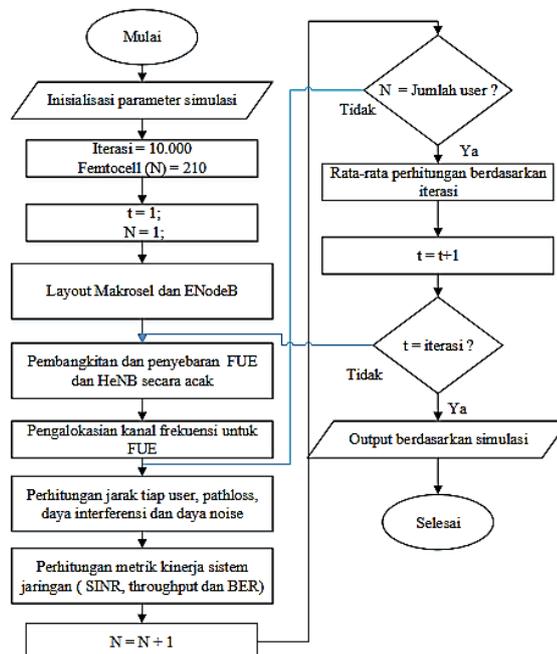
Penelitian ini mengusulkan pengaplikasian 7 sistem. Sistem-sistem yang diuji adalah sistem 1 yaitu sistem jaringan *UDN*, sistem 2 yaitu sistem jaringan *UDN* dengan berbantuan teknologi *RIS*, sistem 3 yaitu sistem *UDN RIS* dengan metode clustering, sistem 4 yaitu sistem *UDN RIS* dengan penambahan metode *FFR 2* area, sistem 5 yaitu sistem *UDN RIS* dengan metode *FFR 3* area, selanjutnya adalah sistem 6 yaitu sistem kombinasi antara jaringan *UDN RIS* metode *FFR 2* area dengan metode *clustering* dan terakhir adalah sistem 7 yaitu sistem kombinasi antara sistem jaringan *UDN* berbantuan *RIS* metode *FFR 3* area dengan metode *clustering*.

3.2.1.1. Sistem 1

Pada Gambar 3.1 mengilustrasikan sistem 1 yaitu sistem jaringan *UDN* dengan skenario terdapat tiga *macrocell* dengan menerapkan transmisi *downlink*. Alokasi kanal diterapkan dengan menggunakan *FRF* sebesar 1 untuk *macrocell* sedangkan untuk *femtocell* menerapkan *FRF* sebesar 3. Femtocell disebarakan secara acak pada tiap *macrocell*. Dengan asumsi bahwa setiap *femtocell* beroperasi secara aktif, menghasilkan transmisi dari stasiun pangkalan *femtocell* (*Home eNode B/ HeNB*) ke perangkat *FUE*. Skenario pertama yang disebut sebagai sistem dasar untuk menyelidiki masalah interferensi pada *femtocell* yang ditempatkan secara padat di dalam tiga *macrocell*. Analisis *FUE* berfokus pada *FUE* yang sedang diamati ditandai dengan lingkaran berwarna merah, yang berlokasi pada makrosel 1. Dengan skenario yang telah dijelaskan sebelumnya, sehingga terjadi interferensi cross-tier dari *ENodeB* pada makrosel 1,2, dan 3. Interferensi *co-tier* juga terjadi dari *HeNB* pada makrosel 1,2 dan 3 dengan pengguna alokasi frekuensi yang sama.



Gambar 3.1 Sistem 1 berupa sistem jaringan UDN

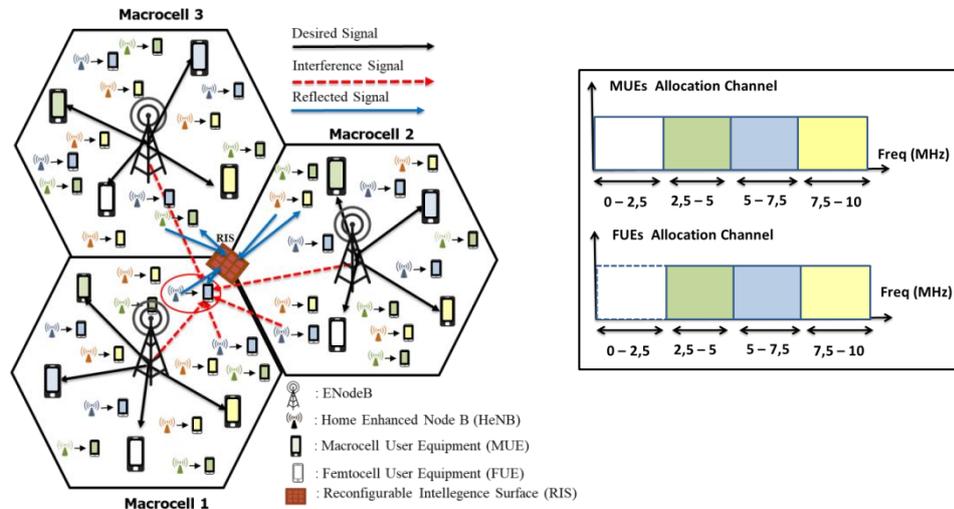


Gambar 3. 2 Diagram Alir Sistem 1

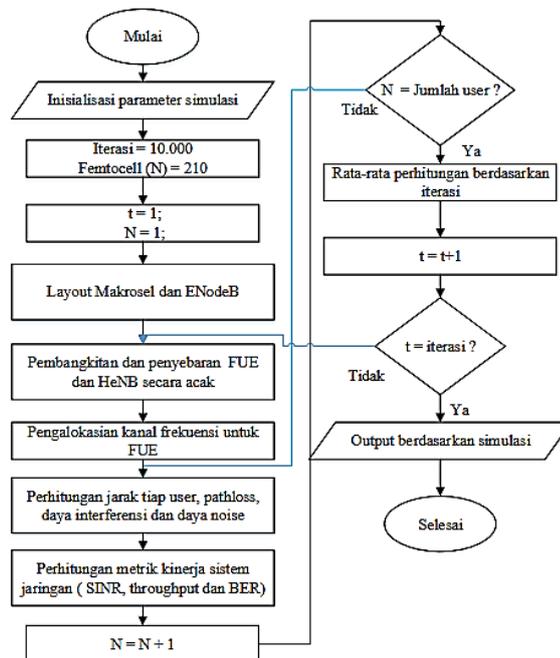
3.2.1.2. Sistem 2

Sistem 2 adalah sistem yang sama seperti sistem1 namun jaringan *UDN* dibantu oleh teknologi *RIS*. Dapat dilihat pada Gambar 3.3 teknologi *RIS* membantu sinyal yang ditransmisikan oleh pengirim dengan merefleksikan sinyal tersebut ke arah penerima, hal ini dilakukan untuk membantu sinyal dalam melewati *obstacle*. Selanjutnya Gambar 3.4 menjelaskan diagram alir untuk skenario baseline. Inisialisasi parameter simulasi dijabarkan terlebih dahulu, kemudian dilakukan perancangan atau pembuatan layout untuk sel makro dan

penempatan titik koordinat *ENodeB*. Pembangkitan dan pengalokasian kanal dilakukan dengan menempatkan titik koordinat *FUE* dan *HeNB* secara acak pada makrosel. Sehingga didapatkan nilai output berupa kinerja sistem jaringan melalui simulasi berdasarkan perhitungan.



Gambar 3.3 Sistem 2 berupa sistem jaringan UDN dengan berbantuan RIS

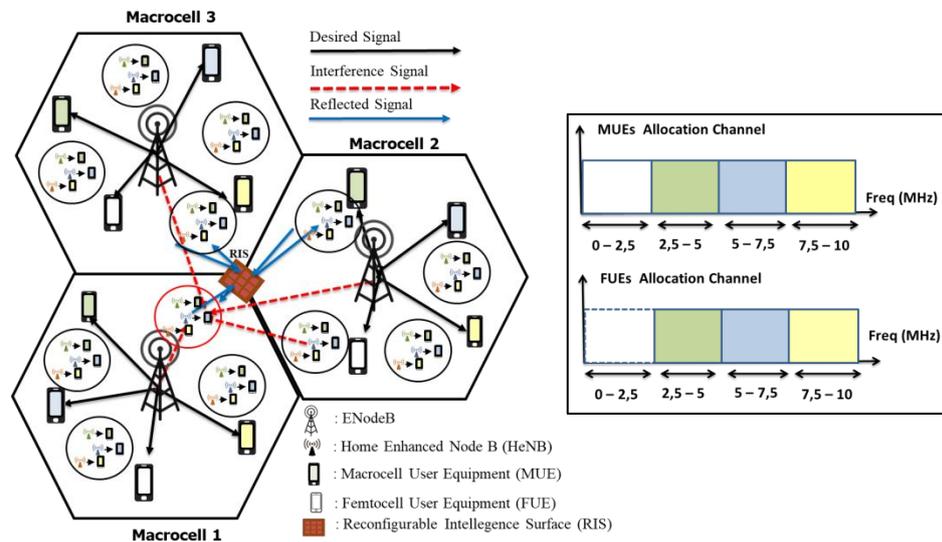


Gambar 3.4 Diagram Alir Sistem 2

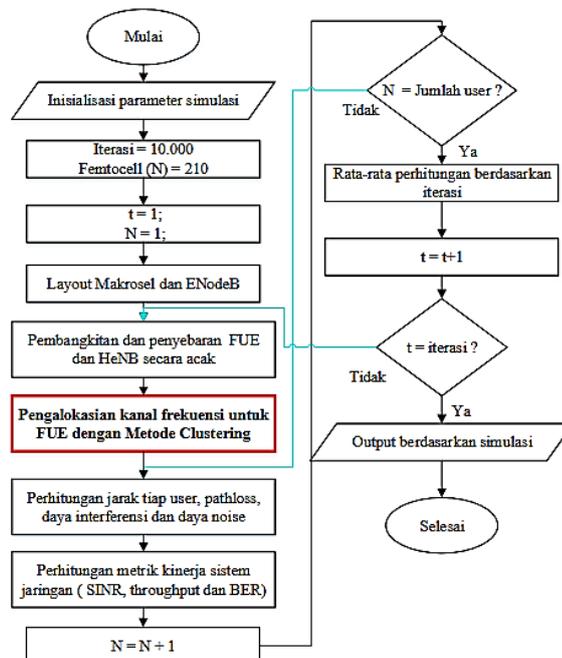
3.2.1.3. Sistem 3

Gambar 3.5 menggambarkan sistem 3 yaitu sistem jaringan *UDN* berbantuan *RIS* dengan penambahan metode *clustering*, sistem 3 bekerja dengan mengelompokkan *femtocell* yang berdekatan pengguna frekuensi kanal yang

berbeda menjadi satu kluster, hal ini untuk mengurangi interferensi di antara pengguna *femtocell*. Gambar 3.6 menjelaskan diagram alir untuk metode *clustering*. Dilakukan Inisialisasi kemudian melakukan perancangan layout untuk sel makro dan penempatan titik koordinat *ENodeB*. Dilakukan pembangkitan dan pengalokasian kanal berbeda kedalam satu *cluster* dengan menempatkan titik koordinat *FUE* dan *HeNB* secara acak pada makrosel. Sehingga pengguna dengan alokasi kanal frekuensi yang sama jaraknya melebar.



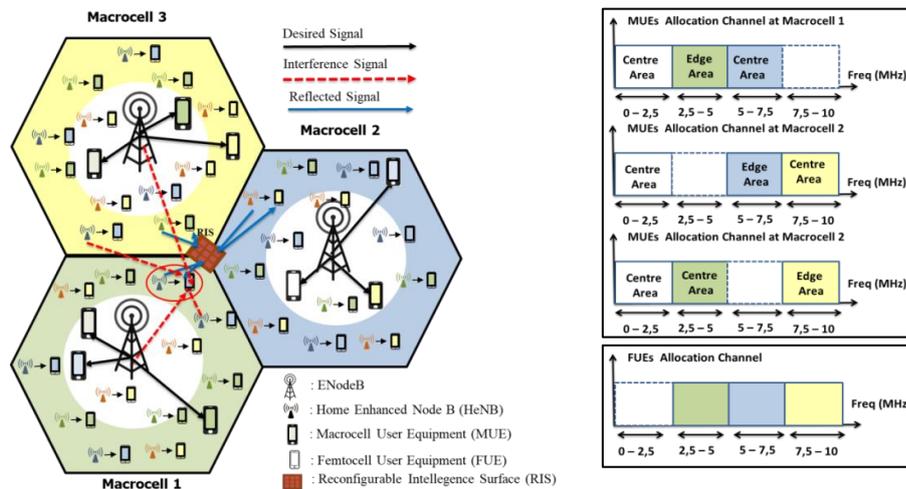
Gambar 3. 5 Sistem 3 Merupakan Jaringan UDN RIS dengan Metode *Clustering*



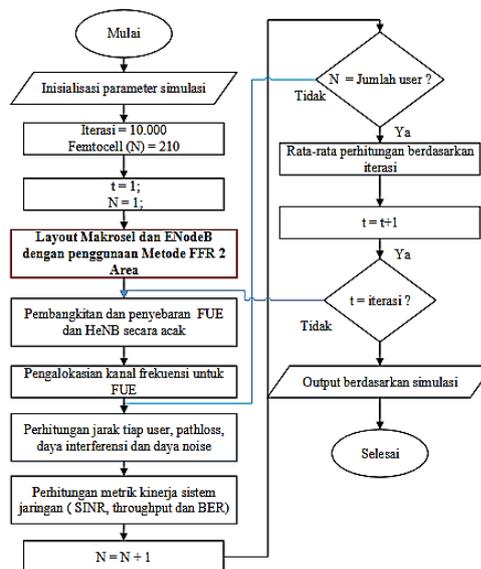
Gambar 3.6 Diagram Alir Sistem 3

3.2.1.4. Sistem 4

Sistem ini adalah pengaplikasian metode *FFR 2* area. Pada Gambar 3.7 diilustrasikan pengaplikasian keseluruhan band-frekuensi makrosel yang dibagi menjadi dua area, yaitu area tengah dan area tepi. Pada bagian area tepi, alokasi band-frekuensi menggunakan *FRF 3*, dengan setiap sisi sel memiliki alokasi frekuensi yang berbeda. *FUE* yang sedang diamati mengalami interferensi dari macrocell 1,2,3 dan *ENodeB* pada makrosel 2 dan 3. Karena makrosel 2 tidak membagi kanal frekuensi dengan *FUE* yang diamati. Gambar 3.7 mengilustrasikan skema yang diusulkan dan Gambar 3.8 menggambarkan diagram alir untuk pengaplikasian sistem 4 pada simulasi.



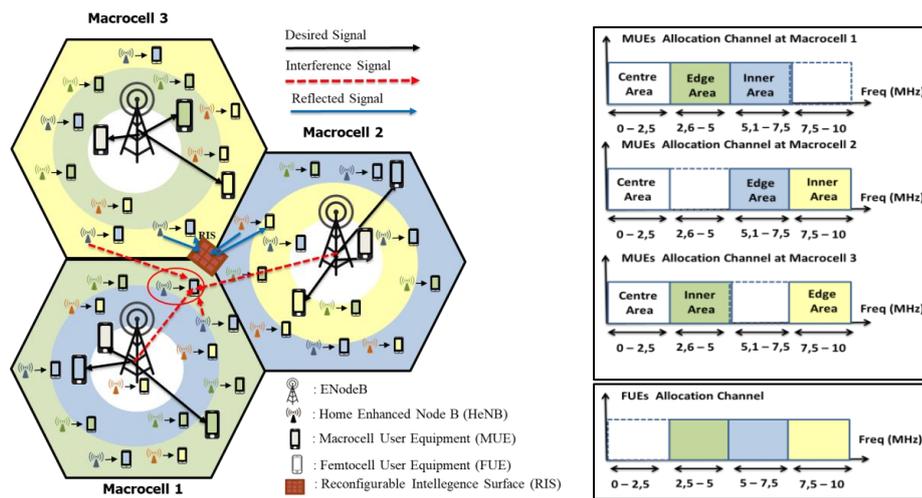
Gambar 3.7 Sistem 4 berupa UDN RIS dengan metode FFR 2 Area



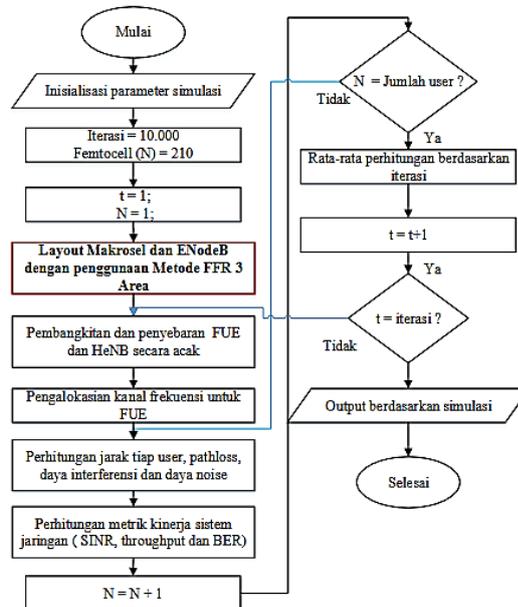
Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem 4

3.2.1.5. Sistem 5

Sistem 5 adalah penggabungan sistem jaringan *UDN* berbantuan *RIS* dengan penambahan metode *FFR 3* area ditunjukkan pada Gambar 3.9 dengan pengaplikasian band-frekuensi makrosel dibagi menjadi 3 area, yaitu area tengah, area dalam, dan area tepi. *FUE* dialokasikan menggunakan *FRF-3*. Terjadi interferensi pada *FUE* yang sedang diamati. Interferensi *co-tier* terjadi dengan *HeNB* yang berada pada makrosel 1,2 dan 3. Interferensi *cross-tier* juga terjadi dengan *ENodeB* pada makrosel 1 dan 2. Gambar 3.10 menggambarkan diagram alir untuk pengaplikasian sistem 5 pada simulasi.



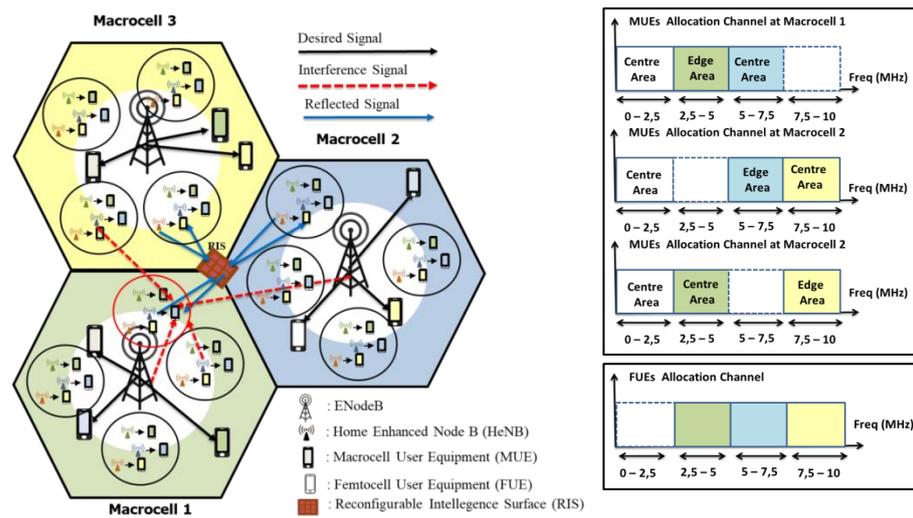
Gambar 3.9 Sistem 5 berupa UDN RIS dengan Metode FFR 3 Area



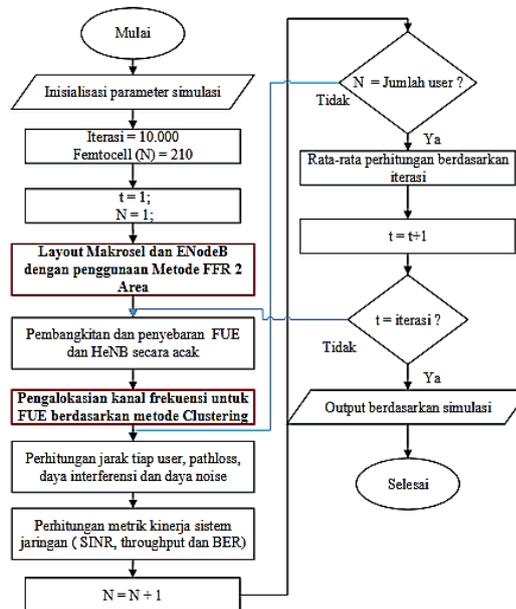
Gambar 3. 10 Diagram Alir Sistem 5

3.2.1.6. Sistem 6

Sistem 6 adalah sistem kombinasi antara jaringan *UDN* berbantuan *RIS* dengan metode *FFR 2 Area* dan penambahan metode *clustering*. Dengan mengaplikasikan kedua sistem ini, diharapkan akan terjadi pengurangan interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier* yang disebabkan oleh femtocell pengguna frekuensi yang sama. Sehingga memberikan daya sinyal yang diterima oleh *FUE* meningkat dan sistem jaringan berkinerja dengan baik. Penggabungan kedua teknik ini ditunjukkan pada Gambar 3.11 dengan penjabaran yang diilustrasikan menggunakan diagram alir pada Gambar 3.12.



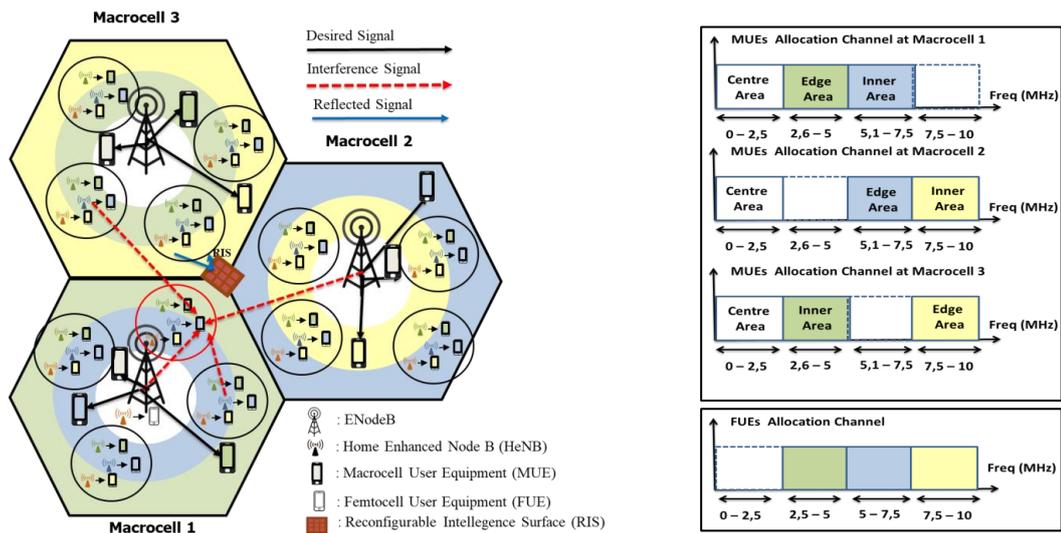
Gambar 3. 11 Sistem 6 berupa UDN RIS FFR 2 Area dengan metode *Clustering*



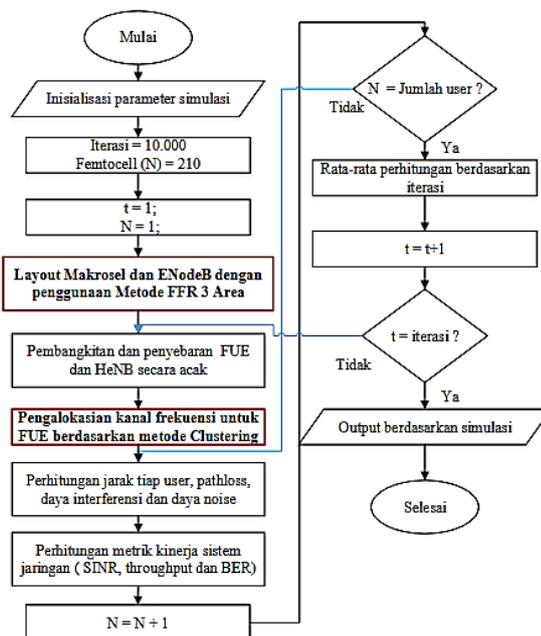
Gambar 3.12 Diagram Alir Sistem 6

3.2.1.7. Sistem 7

Sistem 7 adalah kombinasi antara sistem jaringan *UDN* berbantuan *RIS* dan metode *FFR 3 area* dengan penambahan metode *clustering*. Sistem ini diharapkan dapat mengurangi terjadinya interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier* yang disebabkan oleh *HeNB* dengan *FUE* dan *ENodeB* terhadap *FUE* yang diamati dengan pengaplikasian frekuensi yang sama, dengan jarak yang saling berdekatan. Penggabungan kedua teknik ini ditunjukkan pada Gambar 3.13 dengan penjabaran yang diilustrasikan dengan diagram alir.



Gambar 3.13 Sistem 7 berupa UDN RIS FFR 3 Area dengan Metode Clustering



Gambar 3.14 Diagram Alir Sistem 7

3.2.2. Parameter Simulasi

Parameter pada simulasi berdasarkan pada pengusulan tiga skenario yang telah dijelaskan sebelumnya, dilakukan dengan melakukan analisis pengukuran sesuai dengan parameter kinerja yaitu, *SINR*, *throughput*, dan *BER* pada *FUE*. Dengan mempertimbangkan pengaplikasian tiga makrosel menggunakan *FRF* 1. Jari-jari makrosel adalah 1000 m dan *femtocell* sebesar 30 m. Diasumsikan *femtocell* hanya melayani satu pengguna. *Femtocell* disebarkan mengikuti aturan distribusi uniform. Simulasi dilakukan dengan pengaplikasian program Matlab dengan menggunakan iterasi sebanyak 10.000 iterasi. Hasil parameter yang didapat dirata-ratakan untuk nilai akhirnya. Berikut adalah parameter simulasi pada penelitian yang dijabarkan dalam Tabel 3.1

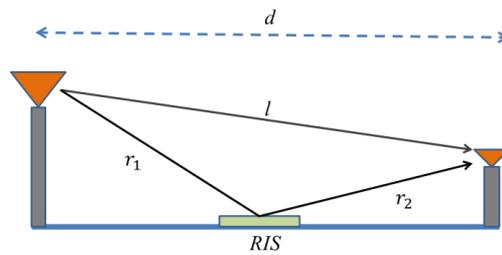
Tabel 3.1 Parameter Simulasi Penelitian

No.	Parameter	Value
1.	Jumlah makrosel	3
2.	<i>Frequency reuse factor</i> dari Makrosel	1
3.	Radius Makrosel [28]	1,000 meters
4.	Radius Femtosel [28]	30 meters
5.	Jumlah <i>HeNB</i>	210
6.	Jumlah <i>MUE</i>	210
7.	Daya Pancar <i>HeNB</i> [32]	23 dBm
8.	Daya Pancar <i>ENodeB</i> Makrosel[32]	46 dBm
9.	Jumlah sistem <i>bandwidth</i>	10 MHz
10.	Skema Modula	16-QAM
11.	Waktu Simulasi/ Iterasi	10,000 iterations
12.	Kerapatan Noise Daya Spektral	-174 dBm/Hz
13.	RIS	1

3.2.3. Model Kanal dan Perhitungan Parameter Kinerja Jaringan

Model komunikasi dengan teknologi *RIS* pada penelitian ini adalah dengan melakukan pengujian model kanal menggunakan model kanal *two-ray* seperti pada penelitian [33]. Penggambaran model kanal diilustrasikan pada Gambar 3.15. Sehingga daya terima pada penerima dapat dilakukan perhitungan seperti pada (3.1) [33].

$$P_r = (N + 1)^2 \cdot P_t \cdot \frac{\lambda}{4\pi d} \quad (3.1)$$



Gambar 3.15 Model Kanal Two-ray

di mana :

P_r : Daya receiver (Watt)

P_t : Daya transmitter (Watt)

N : Jumlah elemen RIS

λ : Panjang gelombang sinyal yang ditransmisikan (meter)

d : Jarak antara pemancar dan penerima (meter)

Untuk membantu mendapatkan nilai perhitungan parameter kinerja, terlebih dahulu dilakukan perhitungan jarak antara *user* dan *base station*, *path loss*, dan daya terima yang diharapkan dari *HeNB* ke *FUE*.

- Perhitungan Jarak

Jarak antara base station (*ENodeB* atau *HeNB*) dengan pengguna atau user (*MUE* atau *FUE*) dapat dihitung dengan persamaan berikut [27] :

$$\text{Jarak}(m) = \sqrt{(BTS_x - User_x)^2 + (BTS_y - User_y)^2} \quad (3.2)$$

Hasil perhitungan jarak dihitung dalam satuan meter, BTS_x dan $User_x$ adalah koordinat yang dihitung pada sumbu x untuk *base station* dan *user*. BTS_y dan $User_y$ adalah koordinat yang dihitung pada sumbu y untuk *base station* dan *user*. Perhitungan ini dilakukan untuk mencari nilai *pathloss*.

- Perhitungan *Pathloss*

Diasumsikan sistem ini terletak pada daerah urban area. Pada daerah urban, model kanal didasarkan pada standar 3GPP TR 36.814 versi 10.2.0 untuk *urban macrocell* [34]. Model kanal standar yang digunakan untuk *femtocell* di daerah perkotaan didasarkan pada standar 3GPP TR 36.922 versi 10.0.0 release 10 [35]. Hal ini dapat dinyatakan dalam persamaan (3.3) dan (3.4)

Untuk sistem *Macrocell* [34] :

$$L_{macrocell}(dB) = 15,3 + 37,6 \log_{10}(r) + L_{oth} \quad (3.3)$$

Untuk sistem *Femtocell* [35]:

$$L_{Femtocell}(dB) = 127 + 30 \log_{10} \left(\frac{r}{1000} \right) \quad (3.4)$$

di mana r adalah jarak antara pemancar (*ENodeB* atau *HeNB*) ke penerima (*FUE* atau *MUE*) dan L_{oth} adalah rugi-rugi penetrasi yang disebabkan oleh dinding di antara jalur pemancar dan penerima.

- Perhitungan Daya yang Diterima

Daya sinyal yang diharapkan yaitu P_{FUE} pada *FUE* yang diamati dapat dihitung menggunakan persamaan (3.5) [27].

$$P_{FUE} = \frac{P_{HeNB}}{L} \quad (3.5)$$

Persamaan (3.5) dalam satuan *decibel* (dB) Equation (2) dalam *decibel* (dB) dapat dihitung menggunakan persamaan (3.6) [27].

$$P_{FUE}(dBm) = P_{HeNB}(dBm) - L(dB) \quad (3.6)$$

di mana P_{HeNB} adalah daya pancar *HeNB* dalam milliwat atau dBm dan L adalah rugi-rugi lintasan propagasi (tanpa satuan atau dalam dB) yang dicirikan oleh kondisi area suatu lokasi sistem

- Perhitungan Noise

Pada simulasi penelitian ini, *noise* yang dipertimbangkan adalah *thermal noise*. Untuk perhitungan *noise*, diasumsikan *bandwidth* sistem adalah sebesar 20 MHz dengan persamaan sebagai berikut (3.7) [27].

$$N_o = k.T.B \quad (3.7)$$

di mana N_o adalah daya noise dengan satuan (dBW/Hertz), k adalah konstanta boltzman dengan nilai $1,38 \times 10^{-23}$ (W/Kelvin-Hz), T adalah suhu dalam satuan Kelvin (K), dan B adalah kanal *bandwidth* yang digunakan dalam satuan *Hertz* (Hz)

Setelah mendapatkan nilai dari perhitungan diatas, dilakukan perhitungan parameter kinerja jaringan berupa nilai *SINR*, *throughput* dan *BER* seperti yang dijelaskan dibawah ini :

- Perhitungan *SINR*

SINR adalah rasio sinyal yang diharapkan dari *HeNB* ke *FUE* yang diamati dan total daya interferensi ditambah dengan daya *noise*. Interferensi berasal dari *femtocell* lain yang menggunakan frekuensi yang sama menyebabkan

terjadinya interferensi *co-tier* dan interferensi lainnya berasal dari *macrocell* yang menggunakan frekuensi yang sama dengan *femtocell* yang diamati atau disebut juga dengan interferensi *cross-tier*. Sehingga *SINR* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (3.8) [28].

$$SINR_{FUE} = \frac{P_{FUE}}{\sum_{i=1}^n I_{cross_tier}(i) + \sum_{j=1}^m I_{co_tier}(j) + N} \quad (3.8)$$

Di mana P_{FUE} adalah daya sinyal yang diinginkan pada *FUE* yang diamati dalam satuan *miliwatt* (mW), $I_{cross_tier}(i)$ adalah i -th interferensi daya sinyal *cross-tier* dalam satuan *miliwatt* (mW), $I_{cross_tier}(j)$ adalah j -th interferensi daya sinyal *co-tier* dalam satuan *miliwatt* (mW), dan N adalah daya *noise* dalam sistem (mW).

- Perhitungan *Throughput*

Nilai *throughput* adalah tingkat keberhasilan dalam pengiriman data. *Throughput* dapat dihitung dengan kapasitas *Shannon* menggunakan persamaan yang ditunjukkan di bawah ini [29]

$$C \text{ (bps)} = B \times \log_2(1 + SINR) \quad (3.9)$$

di mana C adalah kapasitas maksimum kanal dalam satuan *bit per second* (bps), dan B adalah kanal *Bandwidth* dalam satuan *Hertz* (Hz)

- Perhitungan *BER*

Pada perhitungan *BER* dalam penelitian ini dapat menggunakan persamaan (3.10) [30].

$$BER_{FUE} = \frac{3}{4} Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} \times \frac{E_b}{N_o}} \right) \quad (3.10)$$

Dengan Q adalah fungsi Q , $\frac{E_b}{N_o}$ menunjukkan Rasio energi per bit terhadap kerapatan daya *spectral noise* N_o dalam satuan *decibel* (dB) dan M adalah jumlah simbol modulasi yang digunakan yaitu 16-QAM.

3.3. Alat Penelitian

Spesifikasi alat yang digunakan pada tesis ini adalah :

1. Pengaplikasian laptop sebagai device untuk melakukan simulasi *software* MATLAB sebagai perangkat lunak dalam menjalankan algoritma berdasarkan skenario penelitian yang telah dibuat.

2. Menggunakan Microsoft Office 2021 dalam membuat laporan penelitian dan pembuatan presentasi.

3.4. Spesifikasi Alat

Alat yang digunakan pada penelitian adalah :

1. Satu unit laptop dengan spesifikasi Intel Core i7-5500U, DualVGA, NVidia GeForce 940M, RAM 8GB, HDD 1TB.
2. *Software* MATLAB Simulink 2022.
3. Microsoft Office 2010.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memaparkan hasil simulasi yang telah dilakukan dan saran-saran yang diberikan untuk kebutuhan penelitian selanjutnya.

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dihasilkan berdasarkan analisis pengujian simulasi yang telah dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisis hasil pengujian simulasi, sistem yang diusulkan yaitu sistem 7 dapat mengatasi masalah interferensi *co-tier* dan interferensi *cross-tier* yang terjadi dengan pengaplikasian penggunaan metode clustering dan metode *FFR 3* area pada jaringan *UDN* dan penambahan *RIS*. Metode *clustering* meminimalisir terjadinya interferensi *co-tier* dengan mengelompokkan femtocell pengguna alokasi frekuensi berbeda ke dalam satu klaster, sehingga jarak antara femtocell pengguna alokasi frekuensi yang sama semakin lebar. Metode *FFR 3* Area mengalokasikan penggunaan kanal berbeda berdasarkan tiga area, menyebabkan interferensi *cross-tier* antara *ENodeB* dan *femtocell* yang diamati dapat diminimalisir. Dengan pengaplikasian metode-metode ini, sistem 7 dapat meningkatkan nilai *SINR* dan *throughput*, nilai *BER* yang didapat rendah sesuai dengan parameter nilai *QOS*.
2. Sistem 7 dapat memberikan peningkatan kualitas sinyal pada jaringan *UDN* dengan berbantuan *RIS* dengan sistem kombinasi antara metode *FFR 3* Area dengan metode *clustering*, dibuktikan dengan terjadinya peningkatan nilai *SINR*, di mana ketika jumlah *HeNB* mencapai 210 *HeNB*, sistem 1 mendapat nilai *SINR* sebesar 13,1729 dB, sistem 2 mencapai 15,4821 dB, sistem 3 15,7112 dB, sistem 4 memperoleh nilai 18,5523 dB, sistem 5 yaitu 21,04361 dB, sistem 6 mencapai 18,8474 dB, dan sistem terakhir yaitu sistem 7 mendapatkan nilai *SINR* terbesar dibandingkan sistem lainnya yaitu mencapai 21,1041 dB. Sehingga terjadi peningkatan nilai *SINR* dari pengaplikasian sistem yang diusulkan yaitu sistem 7 dari sistem 1 yaitu sebesar 7,8707 dB
3. Pada pengukuran *throughput* ketika *HeNB* mencapai 210, sistem 1 memperoleh hasil sebesar 44,4379 Mbps, sistem 2 mendapatkan nilai 51,8329 Mbps, untuk

Sistem 3 yaitu 52,5736 Mbps, Sistem 4 mencapai 61,8293 Mbps, sistem 5 mencapai 70,0184 Mbps, Sistem 6 memperoleh nilai sebesar 62,7966 Mbps, sedangkan sistem 7 yaitu 70,2176 Mbps. Hasil nilai *throughput* dengan pengaplikasian sistem 7 mendapatkan nilai *throughput* yang lebih baik dibandingkan dengan sistem lainnya, sehingga sistem 7 dapat meningkatkan kecepatan laju data yang lebih unggul.

4. Berdasarkan hasil nilai BER yang didapatkan dari simulasi dengan pengaplikasian sistem-sistem yang diusulkan, sistem 7 memiliki keunggulan dibandingkan dengan sistem lainnya, karena sistem ini dapat mengurangi kesalahan pengiriman bit mencapai $1,428 \times 10^{-7}$, ketika HeNB tersebar sebanyak 210, dibandingkan dengan sistem 1, 2, 3, 4 dan 5 secara berurutan yaitu $1,56 \times 10^{-2}$, $2,9 \times 10^{-3}$, $2,4 \times 10^{-3}$, $5,751 \times 10^{-5}$, dan $1,718 \times 10^{-7}$. Sedangkan untuk sistem 6 memperoleh nilai sebesar $1,71 \times 10^{-5}$. Sistem 7 merupakan sistem yang mengungguli sistem lainnya, karena tingkat kesalahan dalam penransmisian datanya rendah dan dapat meningkatkan kinerja jaringan.

5.2.Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain model sistem terbaru baik dari perancangan layout, pengalokasian kanal, berdasarkan parameter yang dapat menunjang dalam peningkatan kualitas layanan jaringan *UDN* seperti pengaplikasian metode alokasi sumber daya.
2. Mempelajari lebih dalam mengenai perangkat teknologi *RIS* sehingga pemantulan sinyal interferensi ke penerima dapat diminimalisir.
3. Metode kombinasi *clustering* dan *FFR* meskipun efektif dalam meningkatkan kualitas jaringan dan mengurangi interferensi pada jaringan *UDN*, terdapat biaya atau *cost* yang perlu dipertimbangkan, hal ini disebabkan oleh *cost* yang dikeluarkan cukup besar karena memerlukan algoritma pengelolaan yang kompleks. Hal ini juga meningkatkan beban komputasi, baik pada sisi pengguna maupun infrastruktur jaringan dan perlu dilakukan investigasi lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Guo, C. Hu, T. Peng, H. Wang, and X. Guo, "Regression-Based Uplink Interference Identification and SINR Prediction for 5G Ultra-Dense Network," *IEEE Int. Conf. Commun.*, Dublin, Ireland, June. 07-11, pp. 1–6, 2020, doi: 10.1109/ICC40277.2020.9149375..
- [2] S. Jung Kim and J. Gon Kim, "Resource Allocation in Cluster based Ultra Dense Network," *Int. Conf. ICT Converg.*, Jeju, South Korea, Oct. 21-23, pp. 1128–1131, 2020, doi: 10.1109/ICTC49870.2020.9289491.
- [3] S. Sobhi-Givi, A. Khazali, H. Kalbkhani, M. G. Shayesteh, and V. Solouk, "Resource allocation and power control for underlay device-to-device communication in fractional frequency reuse cellular networks," *Telecommun. Syst.*, Dec.27, vol. 65, no. 4, pp. 677–697, 2017, doi: 10.1007/s11235-016-0256-1.
- [4] C. Pan *et al.*, "Multicell MIMO Communications Relying on Intelligent Reflecting Surfaces," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 19, no. 8, pp. 5218–5233, 2020, doi: 10.1109/TWC.2020.2990766.
- [5] J. Huang *et al.*, "Reconfigurable Intelligent Surfaces: Channel Characterization and Modeling," *Proc. IEEE*, vol. 110, no. 9, pp. 1290–1311, 2022, doi: 10.1109/JPROC.2022.3186087.
- [6] L. Liang, W. Wang, Y. Jia, and S. Fu, "A cluster-based energy-efficient resource management scheme for ultra-dense networks," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 6823–6832, 2016, doi: 10.1109/ACCESS.2016.2614517.
- [7] W. Bai, Y. Li, T. Yao, and H. Zhang, "Performance Analysis of Dynamic Re-Clustering and Resource Allocation in Ultra Dense Network," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 60891–60899, 2018, doi: 10.1109/ACCESS.2018.2870868.
- [8] A. Notation, "Modularity-Based User-Centric Clustering and Resource Allocation for Ultra Dense Networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 67, no. 12, pp. 12457–12461, 2018, doi: 10.1109/TVT.2018.2875547.
- [9] T. Ali-Yahiya, "Understanding LTE and its Performance," *Underst. LTE its Perform.*, pp. 199–210, 2011, doi: 10.1007/978-1-4419-6457-1.
- [10] Z. Xiao, J. Yu, T. Li, Z. Xiang, D. Wang, and W. Chen, "Resource allocation

- via hierarchical clustering in dense small cell networks: A correlated equilibrium approach,” *IEEE Int. Symp. Pers. Indoor Mob. Radio Commun. PIMRC*, Valencia, Spain, Sept.04-08, 2016, doi: 10.1109/PIMRC.2016.7794900.
- [11] M. O. Mohamed, B. Abdelhamid, and S. El Ramly, “Interference mitigation in heterogeneous networks using Fractional Frequency Reuse,” *Proc. - 2016 Int. Conf. Wirel. Networks Mob. Commun. WINCOM 2016 Green Commun. Netw.*, Fez, Morocco, Oct.26-29, pp. 154–159, 2016, doi: 10.1109/WINCOM.2016.7777207.
- [12] R. Aljijakli and K. Abdullah, “Cross-Tier Interference Avoidance Technique for LTE-A Femtocell Networks Using Fractional Frequency Reuse,” *IEEE 5th Int. Symp. Telecommun. Technol. ISTT 2020 - Proc.*, Shah Alam, Malaysia., Novem.09-11, pp. 117–122, 2020, doi: 10.1109/ISTT50966.2020.9279383.
- [13] X. Tian and W. Jia, “Improved clustering and resource allocation for ultra-dense networks,” *China Commun.*, vol. 17, no. 2, pp. 220–231, 2020, doi: 10.23919/JCC.2020.02.017.
- [14] Y. Liang, C. Sun, J. Jiang, X. Liu, H. He, and Y. Xie, “An Efficiency-Improved Clustering Algorithm Based on KNN under Ultra-Dense Network,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 43796–43805, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2977403.
- [15] S. Buzzi, C. D’Andrea, A. Zappone, M. Fresia, Y. P. Zhang, and S. Feng, “RIS configuration, beamformer design, and power control in single-cell and multi-cell wireless networks,” *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 7, no. 2, pp. 398–411, 2021, doi: 10.1109/TCCN.2021.3068414.
- [16] W. Cai, R. Liu, Y. Liu, M. Li, and Q. Liu, “Intelligent reflecting surface assisted multi-cell multi-band wireless networks,” *IEEE Wirel. Commun. Netw. Conf. WCNC*, Nanjing, China, March.29-April.01, 2021, doi: 10.1109/WCNC49053.2021.9417342.
- [17] M. Ding, D. Lopez-Perez, G. Mao, P. Wang, and Z. Lin, “Will the Area Spectral Efficiency Monotonically Grow as Small Cells Go Dense?,” *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, San Diego, CA, USA ,

- Dec. 06-10, pp. 1–7, 2015, doi: 10.1109/glocom.2015.7416981
- [18] M. Kamel, W. Hamouda, and A. Youssef, “Ultra-Dense Networks: A Survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 18, no. 4, pp. 2522–2545, 2016, doi: 10.1109/COMST.2016.2571730.
- [19] J. Gao, Q. Ren, P. S. Gu, and X. Song, “User association and small-cell base station on/off strategies for energy efficiency of ultradense networks,” *Mob. Inf. Syst.*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/6871378.
- [20] P. Yen, Q. Zhan, and H. Minn, “New fractional frequency reuse patterns for multi-cell systems in time-varying channels,” *IEEE Wirel. Commun. Lett.*, vol. 4, no. 3, pp. 253–256, 2015, doi: 10.1109/LWC.2015.2404787.
- [21] Y. Zheng, S. Sun, B. Rong, M. Kadoch, and Y. Yamao, “Traffic aware power allocation and frequency reuse for green LTE-A heterogeneous networks,” *IEEE Int. Conf. Commun.*, London, UK, June.08-12, 2015, pp. 3167–3172, doi: 10.1109/ICC.2015.7248811.
- [22] K. Ying, Z. Yu, R. J. Baxley, H. Qian, G.-K. Chang, and G. T. Zhou, “Non linear Distortion Mitigation in Visible Light Communication,” *IEEE Wirel. Commun.*, vol.2, no.2, April, pp. 36–45, 2015.
- [23] Q. Wu and R. Zhang, “Intelligent Reflecting Surface Enhanced Wireless Network via Joint Active and Passive Beamforming,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 11, pp. 5394–5409, 2019, doi: 10.1109/TWC.2019.2936025.
- [24] R. Long, Y. C. Liang, Y. Pei, and E. G. Larsson, “Active Reconfigurable Intelligent Surface-Aided Wireless Communications,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 20, no. 8, pp. 4962–4975, 2021, doi: 10.1109/TWC.2021.3064024.
- [25] Y. Liu *et al.*, “Reconfigurable Intelligent Surfaces: Principles and Opportunities,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1546–1577, 2021, doi: 10.1109/COMST.2021.3077737.
- [26] Z. Zhang *et al.*, “Active RIS vs. Passive RIS: Which Will Prevail in 6G?,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 3, pp. 1707–1725, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2022.3231893.
- [27] M. Susanto, S. N. Hasim, and H. Fitriawan, “Interference Management with

- Dynamic Resource Allocation Method on Ultra-Dense Networks in Femto-Macrocellular Network,” *J. Rekayasa Elektr.*, vol. 17, no. 4, pp. 230–238, 2021, doi: 10.17529/jre.v17i4.23157.
- [28] M. Susanto, S. N. Hasim, and H. Fitriawan, “Relay-Based Clustering Method for Interference Management in Heterogeneous Wireless Cellular Network,” *J. Tek. Elektro*, vol. 13, no. 2, pp. 79–88, 2021, doi: 10.15294/jte.v13i2.33210.
- [29] H. Yanqiaou , “Evaluation of energy efficiency in mobile cellular networks using a fluid modeling framework,” Université Paris-Saclay, 2020.
- [30] V. Garg, *Wireless Communications & Networking*. San Fransisco, CA, 2007. doi: 10.1016/B978-0-12-373580-5.X5033-9.
- [31] C. Padmaja and B. L. Malleswari, “Bit error rate analysis of 4G communication systems,” *IFIP Int. Conf. Wirel. Opt. Commun. Networks, WOCN*, Hyderabad, India, July. 21-23, 2016, pp. 0–4, doi: 10.1109/WOCN.2016.7759874.
- [32] M. Susanto, R. Hutabarat, Y. Yuniati, and S. Alam, “Interference Management using power control for uplink transmission in femtocell-macrocell cellular communication network,” *QiR 2017 - 2017 15th Int. Conf. Qual. Res. Int. Symp. Electr. Comput. Eng.*, July, 24-27, 2017, no. 1, pp. 245–250, 2017, doi: 10.1109/QIR.2017.8168490.
- [33] E. Basar, M. D. Renzo, J. D. Rosny, M. Debbah, M. S. Alouini, and R. Zhang, “Wireless Communications Through Reconfigurable Intelligent Surfaces,” *IEEE Access*, Vol. 4, 2016
- [34] 3GPP TR 36.814 version 10.2.0 Release 10, “3rd Generation Partnership Project; Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects (Release 9),” European Telecommunications Standards Institute, 2010.